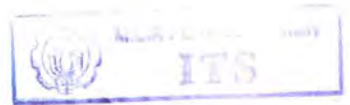


14.607/H/02

TUGAS AKHIR
KL. 1702

**ANALISA EKSPERIMENTAL
PENGARUH BENTUK AYUNAN TERHADAP HASIL
LAS-LASAN SAMBUNGAN TUMPUL (BUTT-JOINT)
PADA PLAT SM 50**



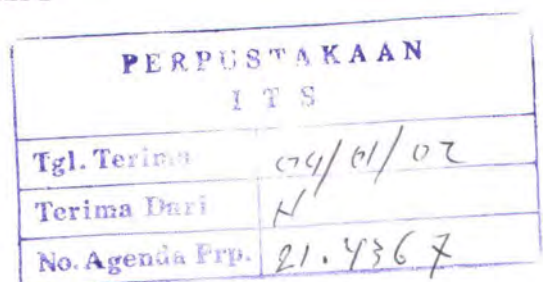
RSKe
671.52
Ren
2-1
2000

Oleh :

RENDRA EKA A.
NRP. 4395.100.003

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA**

2000



**ANALISA EKSPERIMENTAL PENGARUH BENTUK
AYUNAN TERHADAP HASIL LAS-LASAN
SAMBUNGAN TUMPUL (BUTT-JOINT)
PADA PLAT SM 50**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kelautan
Pada
Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing I,



Ir. Soeweify, M.Eng.
NIP. 130 368 597

Dosen Pembimbing II,

Ir. Nur Syahroni
NIP. 132 231 143

**SURABAYA
2000**

*Kupersembahkan
Untuk Bapak dan Ibu*

*Yang Kusayangi
Baridatul Kauniyyah*

“...Dia menyelimuti malam kepada siang, sesungguhnya
pada yang demikian itu terdapat tanda-tanda kekuasaan
Allah bagi kaum yang berpikir.

(QS. Ar-Ra’du:3)





**DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN**

Kampus ITS - Sukolilo, Surabaya 60111 Telp. 5928105, 5994251-5 Psw. 1104-7 Telex 34224 Fax 5947254

TUGAS AKHIR (OE.1701)

No. 110/K03.4.4/PP/99

MATA KULIAH	:	TUGAS AKHIR
NOMOR MATA KULIAH	:	OE.1701
NAMA MAHASISWA	:	Rendra Eka A
NOMOR POKOK	:	4395100003
TGL.DIBERIKAN TUGAS	:	5 September 1999
TGL.SELESAINYA TUGAS	:	5 Pebruari 2000
DOSEN PEMBIMBING	:	1. Ir. Soeweify,M.Eng 2. Ir. Nursyahroni

THEMA/URAIAN/DATA-DATA YANG DIBERIKAN/JUDUL TUGAS AKHIR :

**ANALISA EKSPERIMENTAL PENGARUH BENTUK AYUNAN TERHADAP HASIL LAS-
LASAN SAMBUNGAN TUMPUL (BUTT-JOINT) PADA PLAT SM 50**

DIBUAT RANGKAP 4 :

1. Mahasiswa ybs.
2. Dekan FTK-ITS
3. Dosen Pembimbing
4. Arsip Jurusan



**Surabaya, 5 September 1999
Ketua Jurusan ;**

**Dr.Ir. Eko Budi Djatmiko,MSc
NIP. 131 407 592**

ABSTRAK

Pengelasan logam khususnya material baja kuat jika tidak diperhatikan Welding Procedure Specification (WPS) dengan benar akan menghasilkan las-lasan yang cacat dan kekuatannya menurun. Cacat dan kekuatan las-lasan dipengaruhi oleh proses metalurgi pengelasan, salah satunya tidak sempurnanya proses pencairan dan ini mempengaruhi proses kristalisasi hasil lasan. Proses pencairan logam las sangat berhubungan dengan perlakuan ayunan elektrode (Weaving) pada proses pengelasan.

Pada tugas akhir ini diadakan studi eksperimental mengenai pengaruh bentuk ayunan C, O dan Δ terhadap hasil las-lasan pada material kuat SM 50 dengan menguji hasil lasan dengan uji visual, Makroetsa, ketangguhan (Uji Impact) dan kekerasan (Kekerasan Vickers) material lasan.

Dari analisa yang didapat dari pengujian ketiga bentuk ayunan yang berbeda didapatkan bahwa ketiga ayunan pada uji visual dan makroetsa sudah sesuai dengan standar AWS D1.1,1998. Untuk ayunan bentuk Δ mempunyai kuat Impact yang tinggi pada suhu 0° yaitu $1,698 \text{ J/mm}^2$, suhu 29° sebesar $1,836 \text{ J/mm}^2$ dan pada suhu 100° sebesar $1,840 \text{ J/mm}^2$ berarti mempunyai sifat ketangguhan yang baik. Untuk ayunan O menghasilkan kekerasan yang tinggi terutama didaerah HAZ sebesar $210,98 \text{ Hv}$ tetapi nilai ketangguhannya rendah. Berdasarkan analisa tersebut dapat diketahui sifat dari berbagai ayunan terutama yang menghasilkan kekuatan dan ketangguhan hasil lasan yang baik pada pengelasan material SM 50.

KATA PENGANTAR

Bismillaahirrahmannirrokhiiim.

Segala puji hanya kepada Allah SWT, hanya kemurahan dan kasih sayang-Nya penulis diberikan karunia yang tak terhingga untuk menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “ **Analisa Eksperimental Pengaruh Bentuk Ayunan Terhadap Hasil Las-Lasan Sambungan Tumpul (Butt Joint) Pada Plat SM 50** “. Tugas Akhir ini dibuat guna memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik Kelautan pada Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Penulis telah banyak sekali mendapatkan bantuan moril, sumbangan pemikiran dan pengarahan selama pelaksanaan dan penyelesaian Tugas Akhir ini. Sebagai manusia, penulis menyadari bahwa penulis mempunyai banyak kekurangan dan kelemahan, karena itu penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada siapa saja yang ikut membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, terutama kepada :

1. Bapak, Ibu, yang selalu memberikan dorongan moril dan do'a yang tak mungkin bisa Aku balas, adik-adikku Rofika, Rangga dan Rama yang memberikan kasih sayang selalu kepada kakak.
2. Bapak Dr.Ir. Paulus Indiyono,Msc selaku kepala Jurusan Teknik Kelautan sekaligus menjadi dosen wali penulis. *Thank's Misteer Paul !!*.
3. Ir. Soeweify, M.Eng selaku dosen pembimbing I yang memberikan arahan, sumbangan pemikiran dan bimbingan dengan segala kesabarannya.
4. Ir. Nur Syahroni selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan masukan-masukan yang penting dalam Tugas Akhir.

5. Seluruh dosen pengajar Teknik Kelautan atas bimbingannya selama penulis menempuh studi di Teknik Kelautan.
6. Baridatul Kauniyyah “Oecik-Koe” tersayang , yang selalu memberikan perhatian dan kasih sayangnya. Thank’s.... yang selalu memberiku mimpi-mimpi indah suatu kebenaran dan yang selalu mendampingi.
7. Miss. Ririh dan Bapak Yahya Bahamala “PT ABB Energy Sitems Indonesia” yang memberikan bantuan material yang begitu banyak.
8. Anang “yang selalu memberiku filsafah hidup”. Wawan”Warok”, Cahyo ”Vampire” terimakasih komputere. Gincow, Ochim “Suwun guyonanmu”. Chiki ”bapak-e Zalza”. Rozaq terima kasih diskusinya mengenai “Ketauhitan Tuhan”. Yusuf “Raja Galon”. O’on “Ithem”. Dan para penghuni T-78 lainnya termasuk si kura-kura, mujaer dan bekicot.
9. Sicantik Susi dan Joe, Thank’s kenangan indah nya ! dan seluruh teman Angkatan Emas ’95 yang tak disebutkan. Terima kasih atas okehannya.
10. Mahmud M Munir ,terima kasih atas bantuannya untuk keliling Surabaya mencari material untuk Tugas Akhir ini.
11. Teman-teman KPMB “ LaRoS ” . Terutama pada kawan Aam “Numpak-Numpak, Hing-Numpak, Hing-hing. Serta teman kerjaku P2KP di Banyuwangi, Erwin, Samsul, Saiful, Anton, Ta’in , Faisal, dan simanis Izzul.
12. Bapak H.M Soeharto, terima kasih atas pemberian “SUPERSEMAR” untuk sebagian pembiayaan studi di ITS.
13. Para teknisi Labotarium Pengelasan, Mekanika dan Bahan dan Konstruksi, Pak Yanto, Hardiman, dan yang lainnya.

14. Adik kecil-ku “ Arina Ihda Ayatillah. R “ yang memberikan kelucuan sejenak pada diriku.
15. Semua pihak yang telah banyak membantu penulis yang tidak dapat disebutkan disini satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa Kami adalah manusia biasa yang tak luput dari kesalahan. Untuk itu jika ada kekurangan atas isi Tugas Akhir ini , Kami mohon maaf yang sebesar-besarnya dan kami mengharapkan adanya kritik dan saran atas Tugas Akhir ini, agar Kami cepat belajar dan membenahi kekurangan-kekurangan pada tulisan ini.

Cukup sekian kata pengantar dari kami, pada akhirnya Kami bisa berharap bahwa studi ini dapat sepenuhnya bermanfaat dan berguna bagi pembaca di Indonesia maupun di dunia Internasional. Terima kasih dan sekian.

Surabaya, Agustus 2000

Rendra Eka A

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
LEMBAR PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	
I.1. Latar Belakang	I-1
I.2. Perumusan Masalah	I-2
I.3. Tujuan	I-2
I.4. Manfaat	I-3
I.5. Batasan Masalah	I-3
I.6. Metodologi Penulisan	I-4
I.7. Sistematika Penulisan	I-6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
II.1. Tinjauan Pustaka	II-1
II.2. Dasar Teori	II-2

2.1. Baja Karbon	II-2
2.2. Pengelasan dan Pergerakan Elektrode Terbungkus	II-8
2.3. Pergerakan Elektrode	II-17
2.4. Siklus termal Daerah Lasan	II-22
2.5. Ketangguhan Daerah Lasan	II-27
BAB III METODOLOGI PENGUJIAN KONTRUKSI LAS	
III.1. Pendahuluan	III-1
III.2. Persiapan	III-1
III.3. Pengujian Hasil Lasan	III-3
BAB IV ANALISA HASIL PENGUJIAN	
IV.1. Pengujian Visual	IV-1
IV.2. Pengujian Makroetsa	IV-1
IV.3. Pengujian Impact	IV-3
IV.4. Pengujian Kekerasan Vickers	IV-7
BAB V KESIMPULAN	
V.1. Kesimpulan	V-1
V.2 Saran	V-2
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Macam dan fungsi bahan flux.....	II-16
Tabel 2.2 Berbagai Macam elektrode baja karbon	II-17
Tabel 4.1 Hasil uji impact suhu 0° pada weld meal	Lampiran 2
Tabel 4.2 Hasil uji impact suhu 29° pada weld meal	Lampiran 3
Tabel 4.3 Hasil uji impact suhu 100° pada weld meal	Lampiran 4
Tabel 4.4 Hasil uji impact suhu 0° pada HAZ	Lampiran 5
Tabel 4.5 Hasil uji impact suhu 29° pada HAZ.....	Lampiran 6
Tabel 4.6 Hasil uji impact suhu 100° pada weld meal	Lampiran 7
Tabel 4.7 Prosentasi patah geser pengujian impact suhu 0° pada weld metal	Lampiran 8
Tabel 4.8 Prosentasi patah geser pengujian impact suhu 29° pada weld metal	Lampiran 9
Tabel 4.9 Prosentasi patah geser pengujian impact suhu 100° pada weld metal	Lampiran 10
Tabel 4.10 Prosentasi patah geser pengujian impact suhu 0° pada HAZ	Lampiran 11
Tabel 4.11 Prosentasi patah geser pengujian impact suhu 29° pada HAZ	Lampiran 12

Tabel 4.12 Prosentasi patah geser pengujian impact suhu 100° pada

HAZLampiran 13

Tabel 4.13 Hasil Uji kekerasan vickers.....Lampiran 22

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram alir metodologi penelitian.....	I-1
Gambar 2.1 Hubungan antara kadar karbon dan kekuatan tarik,kekerasan dan ductilitas	II-1
Gambar 2.2 Diagram CCT untuk baja BJ 50.....	II-7
Gambar 2.3 Proses pengelasan SMAW.....	II-10
Gambar 2.4 Diagram CC dan CV	II-12
Gambar 2.5 Berbagai macam weaving	II-19
Gambar 2.6 Berbacam Weaving dalam proses pengelasan.....	II-19
Gambar 2.7 Berbagai macam weaving	II-20
Gambar 2.8 Bentuk weaving Δ	II-21
Gambar 2.9 Gerakan weaving dan lebar ayunan	II-22
Gambar 2.10 Arah pembekuan dari logam las.....	II-23
Gambar 2.11 Siklus termal dalam las busur tangan	II-25
Gambar 2.12 Diagram CCT pada pengelasan baja kuat BJ 55.....	II-27
Gambar 2.13 Uji tumpuk charpy dengan takik V-2mm	II-28
Gambar 2.14 Hubungan antara prosentase patah getas dan energi yang diserap dengan temperatur pengujian	II-29
Gambar 3.1 Pemotongan spesimen uji	III-1
Gambar 3.2 Spesimen Impact	III-13
Gambar 4.1 Diagram Impact weld metal dan HAZ	IV-4
Gambar 4.2 Penampang patahan maemanjang dan melintang.....	IV-7

Gambar 4.3 Daerah Pengujian Kekerasan Vickers.....IV-7

Gambar 4.4 Grafik Kekerasan vickers IV-8

TUGAS AKHIR



Tiadakah mereka memperhatikan burung yang mudah terbang diudara ?
Tiada yang menahannya, melainkan Allah. Sesungguhnya keadaan yang
demikian itu benar-banar menjadi bukti bagi mereka yang beriman.

(QS. An-Nahl:79)

” Dan pertukaran siang dan malam, dan air yang diturunkan oleh Allah dari langit yang mengandung rizki, lalu bumi yang mati (kering) dihidupkan kembali dan angin berhembus. Kesemuanya itu menjadi bukti kekuasaan Allah bagi kaum yang mempergunakan akalunya.

(QS. Al - Jatsiyah: 5)

BAB I



PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Suatu pengelasan material baja yang bertujuan untuk menyambung material baja satu dan lainnya tanpa mengurangi kekuatan material tersebut pada sambungan tumpul (*butt joint*) banyak digunakan di galangan - galangan. Dimana material yang banyak digunakan adalah baja (*steel*), seperti baja SM 50 yang mengandung $\leq 0.20\% \text{ C}$, $\leq 0.55\% \text{ Si}$, $\leq 15\% \text{ Mn}$, $\leq 0.040\% \text{ P}$, $\leq 0.040\% \text{ S}$ dan mempunyai kuat luluh $\geq 33 \text{ Kg/mm}^2$, kuat tarik $50 - 62 \text{ Kg/mm}^2$ (Okumura, 1994). Dalam proses pengelasan faktor yang berpengaruh terhadap hasil lasan adalah tergantung dari manusia yaitu *welder* dan operator, mesin, material dan prosedur, dimana yang paling berpengaruh salah satunya yaitu tukang las (Cary, 1979). Pada pengelasan tersebut oleh banyak tukang las diibaratkan suatu seni yang membutuhkan penanganan dan konsentrasi dalam pengerjaannya. Oleh karena itu biasanya para *welder* mempunyai kebiasaan dan gaya dalam mengayunkan busur las pada base metal dan ayunan ini banyak bermacam - macam bentuknya seperti bentuk *whip* atau *hesitate*, J, C, O, Δ , U, L, *lazy 8* atau *figure of eight* (Richard, 1973). Para *welder* biasanya mempertahankan kebiasaannya dalam mengayunkan busur las. dan tragisnya ayunan (*weaving*) sangat mempengaruhi terhadap proses pencairan dalam pengelasan. Jika proses pencairan berlangsung tidak sempurna maka akan berpengaruh dan menentukan hasil las - lasan (Soeweify, 1992).

Karena ayunan mempengaruhi proses pencairan dalam pengelasan , maka disini akan dilakukan analisa secara ekperimental penggunaan bentuk ayunan (*weaving*) dalam pengelasan sambungan tumpul (*butt joint*) dengan beberapa model anyunan . Sedang bentuk ayunan yang akan di uji adalah bentuk C, Δ , O dan pada akhir analisa ini diharapkan mendapatkan bentuk ayunan yang optimal dan yang paling baik dari sekian macam bentuk ayunan dalam suatu pengelasan *butt joint* untuk posisi 1G (*Flat position*).

I.2 Perumusan Masalah

Pada suatu pengelasan *butt joint* pada material baja seperti SM 50 banyak terjadi prolem yang ditemui, jika pengelasan itu tidak ditangani dengan baik. Salah satunya terjadi karena adanya proses pencairan yang tidak sempurna , sedangkan proses pencairan melibatkan perlakuan ayunan (*weaving*) pada pengelasan. Maka disini dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh dari berbagai bentuk ayunan C, O dan Δ terhadap hasil pengelasan *butt joint* dengan melihat cacat, kekerasan dan ketangguhannya.

I.3 Tujuan

Analisa eksperimental pengaruh bentuk ayunan yang akan dilakukan mempunyai tujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh bentuk ayunan (*weaving*) dengan model ayunan C, O dan Δ terhadap hasil las- lasan dengan melihat cacat , kekuatan
-

dan ketangguhan pengelasan material SM 50 dan dengan melakukan pengujian terhadap dari hasil las – lasan.

I.4 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini untuk memperbaiki hasil mutu las-lasan dengan menggunakan perlakuan *weaving* yang paling sesuai dengan pada plat SM 50.

I.5 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan pembahasan masalah dalam eksperimental, maka penulisan ini dilakukan beberapa pembatasan – pembatasan yaitu:

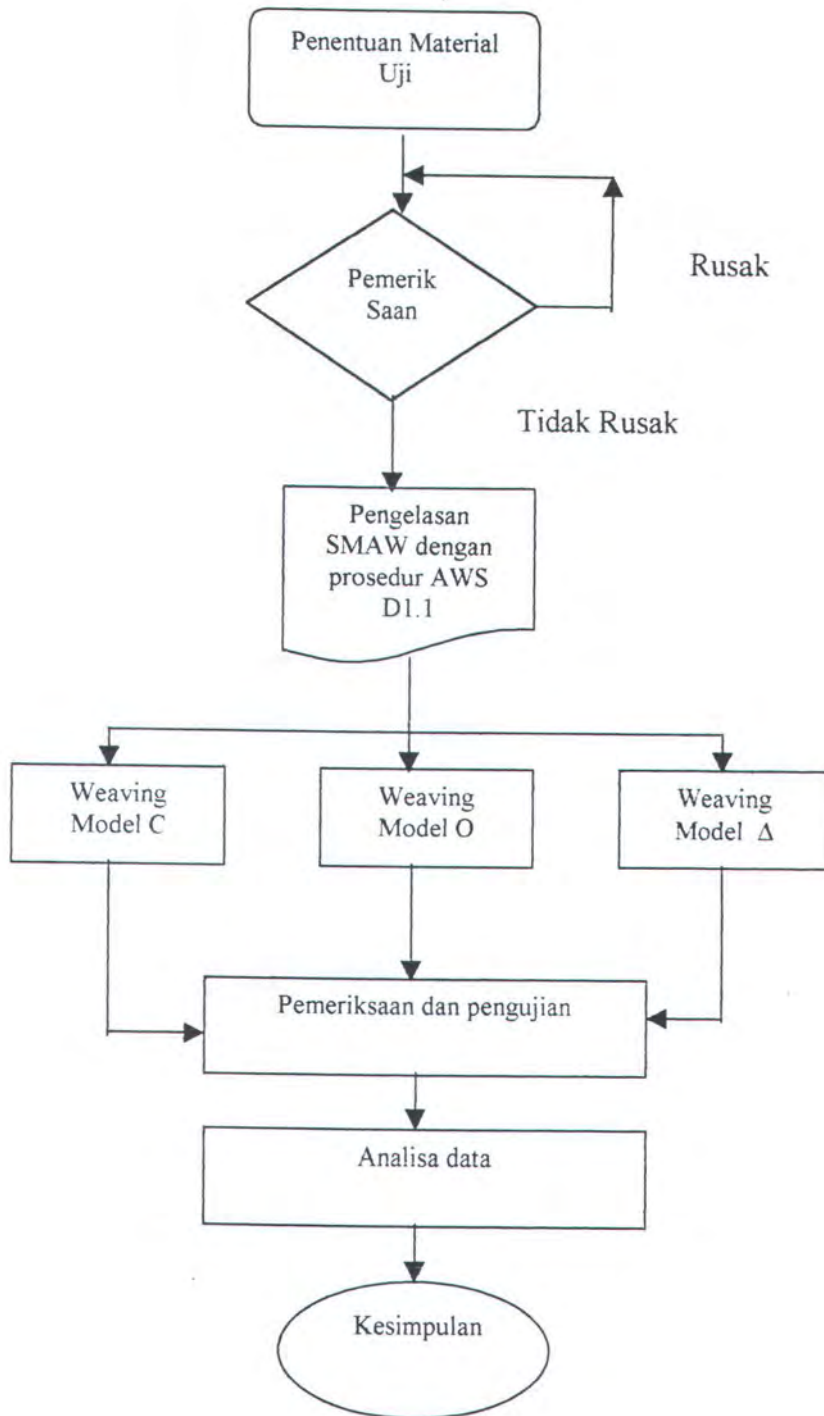
1. Pengelasan dilakukan pada sambungan *butt joint*.
 2. Material yang digunakan baja jenis SM 50 atau ekuivalennya.
 3. Ketebalan Plat minimal 13 mm.
 4. Pengelasan material menggunakan SMAW.
 5. Posisi pengelasan dengan 1G.
 6. Menggunakan bentuk Grove V.
 7. Ayunan yang dipakai adalah bentuk : C,O dan Δ .
 8. Prosedur pengelasan dengan AWS D1.1, 1998.
 9. Pemeriksaan dan pengujian menggunakan uji uji visual dan makroetsa, kekerasan dan uji *impact*.
-

I.6 Metodologi Penelitian

Penelitian ini merupakan studi eksperimental dengan melakukan pemeriksaa dan pengujian pada logam hasil las – lasan. Untuk mendapatkan hasil yang optimal dalam penelitian ini maka dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Sebelum melakukan eksperimen maka dilakukan lebih dahulu studi literatur untuk menunjang dari eksperiment tersebut.
2. Menyiapkan *base metal* untuk dilakukan pengelasan SMAW dengan perlakuan *weaving* yang berbeda pada material dan dengan prosedur AWS D1.1, 1998.
3. Melakukan pengujian material lasan dengan dilakukan uji amatan, (*Visual Inspection*) , uji makroetsa, kekerasan.dan uji *Impact*.
4. Membandingkan dari hasil pengelasan dengan tiga macam perlakuan *weaving* yang berbeda sehingga mendapatkan suatu kesimpulan kesimpulan .

Studi eksperimental dilakukan di labotarium kontruksi dan kekuatan Fakultas Teknologi Kelautan dan Politeknik Perkapalan ITS. Secara garis besar penulisan ini digambarkan sebagai berikut :



Gambar I.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

I.7 Sistematika Penulisan

Bab I Pendahuluan

Latar belakang dan pengertian, perumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, metodologi penulisan dan sistematika penulisan.

Bab II Tinjauan Pustaka dan Landasan Teori

Berisikan tinjauan pustaka dan teori-teori mengenai pengelasan yang berhubungan dengan judul penulisan.

Bab III Metodologi Pengujian Konstruksi Las

Berisi tentang prosedur pengelasan pada material dan cara pengujian dari hasil las-lasan.

Bab IV Analisa Hasil Pengujian

Berisi tentang semua data hasil percobaan dari material lasan dan analisa hasil percobaan tersebut.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Berisi kesimpulan yaitu bentuk ayunan yang paling baik yang digunakan dalam pengelasan .

“Tidakkah kamu perhatikan betapa Allah menciptakan
langit bertingkat tujuh dan masing-masing langit itu
dijadikan bulan yang bercahaya dan matahari yang
bersinar terang.
(QS. An-Nuh:15-16)

BAB II



TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

BAB II

TINJAUAN-PUSTAKA DAN DASAR TEORI

II.1 Tinjauan Pustaka

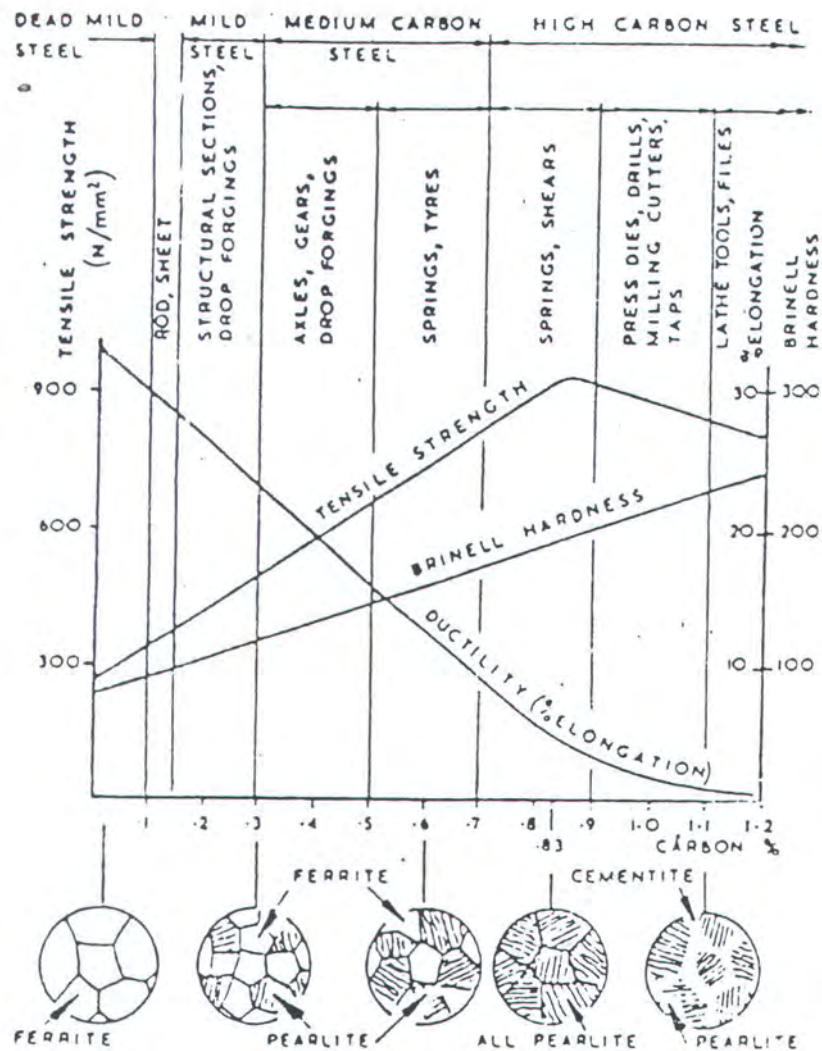
Pengelasan merupakan proses penyambungan material tanpa mengurangi kekuatan dari material tersebut. Pada proses pengelasan biasanya banyak terjadi cacat jika proses pengelasan tidak diperhatikan sesuai prosedur yang ada. Seorang sarjana ahli las harus menguasai sepenuhnya tentang sebab – sebab cacat yang terjadi dan kemudian menentukan usaha usaha yang untuk menghindari cacat pengelasan (Okumura, 1994). Sehingga banyak dilakukan suatu analisa eksperimental untuk memperbaiki dari mutu las-lasan. Soeweify dkk. (1990) telah melakukan studi eksperimental tentang kekuatan hasil las-lasan dengan berbagai elektrode yang umum digunakan, dan ini merupakan satu usahanya memperbaiki hasil las-las dengan menggunakan elektrode yang tepat.

Dengan tinjauan tersebut penulis ingin melakukan perbaikan mutu dan kekuatan hasil las – lasan dengan melakukan analisa eksperimental pengaruh bentuk ayunan terhadap hasil las –lasan, karena ayunan dalam pengelasan membantu memberi fusi yang baik pada las – lasan dan menentukan kuatnya las-lasan (Mohler, 1983). *Weaving* dianjurkan pada proses pengelasan untuk menambah dilusi (*Dilution*) dan akan memperbaiki pencampuran *weld metal* dengan *parent metal* (Davies, 1993).

II.2 Dasar Teori

2.1 Baja Karbon.

Baja (steel) merupakan logam yang digunakan manusia untuk berbagai keperluan, karena baja jumlahnya cukup melimpah, mempunyai sifat mekanik yang memadai dan harganya relatif murah (Suherman, 1987). Baja (Steel) merupakan hasil dari proses oksidasi, dimana proses oksidasi ini menurunkan dan mencampurkan unsur C, S, Mn, P dan S menjadi satu (De Garmo, E.P dkk, 1988). Menurut Triyanto (1999) komposisi kimia baja dapat dibagi menjadi baja karbon dan baja paduan. Baja yang diproduksi dari besi yang mengandung kadar karbon berkisar 1.75%, secara teknis dinyatakan sebagai baja karbon (carbon steel) dimana keseluruhannya berasal dari paduan antara besi dengan karbon dengan sedikit unsur S, Mn, P, S dan Cu. Baja paduan (Alloy Steel) adalah suatu baja karbon yang ditambah dengan satu atau lebih unsur-unsur tambahan dalam jumlah yang cukup banyak. Untuk menghasilkan sifat-sifat yang dikehendaki, yang tidak dimiliki oleh baja karbon (Dhayawadhana, 1996). Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbonnya, karena itu baja dikelompokkan berdasarkan karbonnya. Baja karbon rendah adalah baja dengan kadar karbon kurang dari 0.30 %, baja karbon sedang mengandung 0.30% sampai 0.45% karbon dan baja karbon tinggi berisi karbon antara 0.45% sampai 1.7%. Bila kadar karbon naik, kekuatan dan kekerasannya juga bertambah tinggi tetapi perpanjangannya menurun. Klasifikasi dari kadar karbon dapat dilihat di tabel (Okumura, 1996). Hubungan antara kadar karbon dan kekuatan tarik, kekerasan dan ductilitas diberikan pada Gambar 2.1 (Suherman, 1987).



Gambar. 2.1 Hubungan antara kadar karbon dan kekuatan tarik, kekerasan dan ductilitas (Suherman, 1987)

Sedangkan menurut Jensen dan Alfred (1983) baja dibuat dari paduan besi murni dengan karbon dalam jumlah bekisar 0.05 % sampai 1.7% . Suatu kandungan karbon sekitar 0.1% menghasilkan apa yang dinamakan baja lunak (Soft Steel) dengan kekuatan tarik sekitar 50.000 Psi. yang cocok untuk dirol

sebagai pelat. Baja struktur (Struktur Steel) umumnya digunakan untuk dirol menjadi bentuk struktur seperti siku, balok dan kolom yang mengandung 0.25% C yang menghasilkan suatu baja yang cukup ulet dengan kekuatan 64.000-72.000 Psi. Kenaikan karbon sekitar 0.40% menghasilkan baja mesin (Mesin Steel) dengan kekuatan tarik 80.000 Psi, sementara 0.75% C menghasilkan baja pegas (spring steel) dengan kekuatan tarik 100.000 Psi, sedang 1% karbon menghasilkan pahat (Tool Steel) yang sangat keras, kekuatan tarik 120.000 sampai 130.000 Psi.

Okumura (1996) menjelaskan bahwa kelompok baja kuat meliputi baja-baja dengan kekuatan tarik dalam keadaan rol antara 50 sampai 80 Kg/mm² . Baja-baja dalam kelas kekuatan 50 Kg/mm² biasanya digunakan untuk konstruksi rangka-rangka baja untuk bangunan laut , kapal-kapal dan konstruksi umum lainnya. Sedang kekuatan 80 Kg/mm² digunakan untuk jembatan, bejana tekan dan lain-lain. Untuk baja kekuatan tinggi ini akan dikelompokkan berdasarkan proses pembuatan yaitu:

1. Baja Rol

Pengaturan dalam proses pengerolan sangat membantu dalam pembuatan untuk mendapat kekuatan tarik dan takik yang tinggi. Baja pelat rol biasanya untuk mendapatkan kekuatan tarik dan takik yang tinggi. baja pelatrol biasanya dihasilkan dengan mengerol cepat slab yang telah dipanaskan sampai suhu 1250°C , untuk menghasilkan baja dengan ketangguhan yang tinggi maka pengerolan harus dilakukan pada temperatur yang lebih rendah. Pengerolan akhir untuk baja ini sekitar 700°C, yaitu suhu daerah campuran austenit dan ferit. (Okumura, 1996). Untuk mengetahui mengetahui *weldability* suatu logam dapat

dilihat dari carbon equevalentnya. Tapi bagaimana juga ukuran penampang bentuk dan besarnya benda yang akan dilas, pengaturan laju pendinginan akan juga mempengaruhi terhadap weldability (Soeweify, 1992). Asosiasi Las Jepang dalam menentukan sifat mampu las dari baja menggunakan kadar karbon dimana unsur-unsur lain dinyatakan dalam karbon ekivalen seperti persamaan berikut (Okumura, 1996):

$$C_{ek} = C + \frac{1}{6} + \frac{1}{24}Si + \frac{1}{40}Ni + \frac{1}{5}Cr + \frac{1}{4}Mo + \frac{1}{4}V$$

Sedangkan menurut International Institute of Welding (IIW) sifat kekerasan dari baja juga dapat dilihat dari Corbon Equevalent (CE) yang dikandung dari baja tersebut. Persamaan dari Corbon Equevalent (CE) menurut IIW (Honeycombe, R.W.K. dkk, 1995) :

$$C_{ek} = C + \frac{Mn + Si}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{5} wt\%$$

Untuk baja struktur , harga Corbon Equevalent (CE) sekitar 0.35%-0.5% (Gourd, 1995). Menurut Soeweify (1992) jika harga $C_{ek} \leq 0.45\%$ maka baja tersebut adalah cukup *weldable* dan pengelasan tanpa menggunakan cara-cara khusus seperti preheating ataupun menggunakan elektrode las *low hydrogen*. Bila $C_{ek} > 0.45\%$ maka pengelasan harus menggunakan cara khusus yaitu preheating, postheating, salah satu ataupun kedua-duanya. Selain itu untuk memperbaiki sifat baja kadang-kadang ditambahkan unsur V dan Nb sebanyak 0,02% sampai 0,08% yang akan mempertinggi kekuatan baja dengan membentuk endapan halus VN dan NbC pada waktu terjadi transformasi austenit keferrit sesaat setelah pengerolan selesai. Baja-baja pelat rol dengan pengaturan seperti

diatas biasanya digunakan untuk baja konstruksi dengan kekuatan tarik antara 50 sampai 60 Kg/mm² (Okumura, 1996).

2. Baja Normal dan Baja Normal-Temper

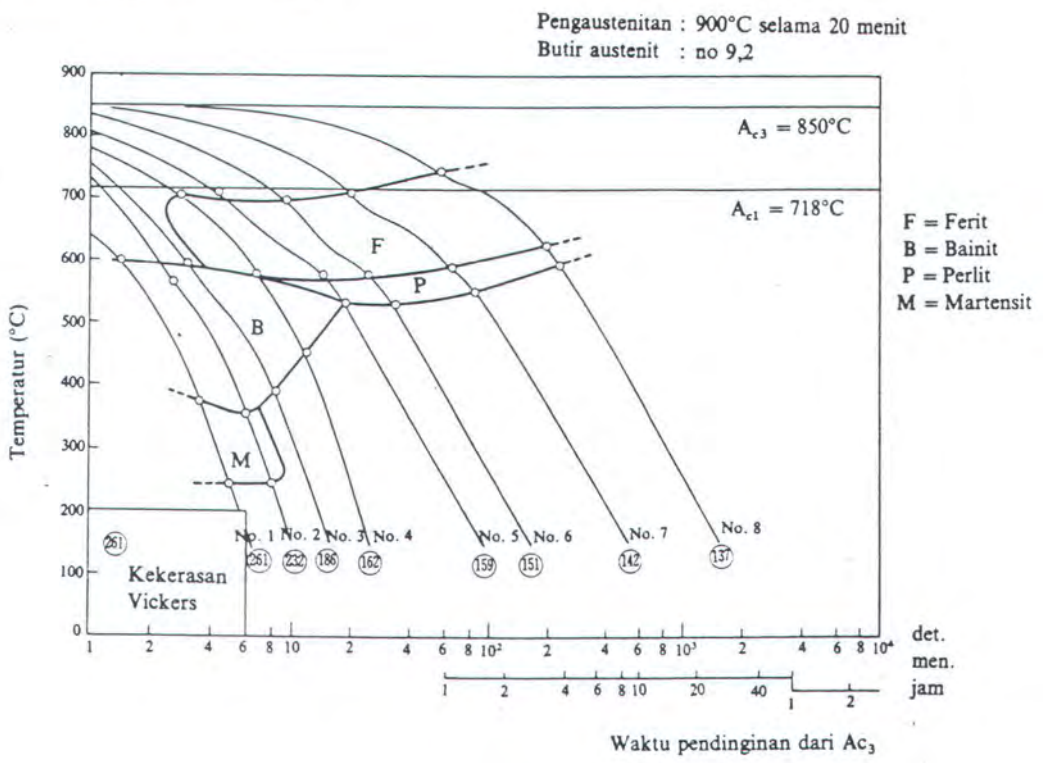
Baja noemal dan baja mormal-temper adalah baja dengan struktur mikro ferit-perlit dengan kekuatan tarik 60 Kg/mm². Perbedaan baja ini terhadap bakja rol adalah bhwa walaupun dalam proses pembuatannya menjalani pengerjaan panas pada suhu 900°C yang menurunkan kekuatan dan keuletan. Sifat-sifat ini dapt diperbaiki dengan perlakuan panas yaitu memanaskan sampai mencapai suhu diatas suhu tranformasi dan didininkan diudara. Perlakuan panas ini biasanya disebut penormalan . kadang-kadang setelah penormalan masih diikuti dengan pemanasan dibawah temperatur tranformasi dan diikuti dengan pendinginan dengan kecepatan tertentu. Proses tersebut dinamakan penemperan. Baja dalam kelompok ini mengandung Al yang dapat mengendapkan gas nitrogen dalam bentuk Al N pada proses tranformasi ferit-austenit. Sifat yang baik lainnya adalah tidak mudah mengeras karena peregangan atau deformasi. Baja normal dengan kekuatan 50 Kg/mm² dapat dilihat komposisi kimia dan diagram CCT pada Gambar 2.2 (Okumura, 1996)

3. Baja Celup Dan Temper

Baja-baja kuat yang memerlukan kekuatan tarik 60 Kg/mm² atau lebih, harus mengalami proses celup dan temper. Celup adalah proses perlakuan panas dengan pendinginan baja dari suhu austenit kesuhu kamar dengan mencelupkan kedalam air atau minyak. Proses celup dan temper biasanya dilakukan secara berlanjut dengan menggunakan alat celup beroda. Komposisi kimia baja celup

kekuatan 60 Kg/mm² tidak banyak berbeda dengan baja normal kekuatan 50 Kg/mm², karena itu sifat mampu-lasnya juga hampir sama. Dari diagram CCT baja kekuatan 60 Kg/mm² dapat dilihat bahwa sifat mampu kerasnya hanya sedikit berbeda yaitu lebih tinggi dari baja kekuatan 50 Kg/mm². Struktur yang terjadi jarang sekali mencapai martensit sempurna yang terbentuk adalah ferit dan bainit.

C	Si	Mn	P	S
0,16	0,25	1,15	0,012	0,008



Gambar.2.2. Diagram CCT untuk Baja BJ 50 (Okumura,1996)

Pada baja dengan kekuatan 70 Kg/mm² dan 80 Kg/mm² biasanya mengandung unsur paduan dari Cu,Ni,Cr,Mo,V dan yang lainnya. Hal ini yang

terpenting dalam menghasilkan baja ini adalah usaha untuk menurunkan karbon ekivalen serendah mungkin sehingga mampu-lasnya tetap tinggi dan pengaturan struktur mikro penguatan yaitu mikro ganda dari bainit halus dan martensit yang dapat memperbaiki kekuatan tarik. Dalam baja kuat ini disamping kelompok kekuatan 60 Kg/mm² dan 70 Kg/mm² masih ada dua kelompok terakhir yaitu kelompok kekuatan 80 Kg/mm² dan 100 Kg/mm² yang banyak digunakan untuk konstruksi mesin dan mesin alat-alat berat.

2.2 Pengelasan dan Pergerakan Elektrode Terbungkus.

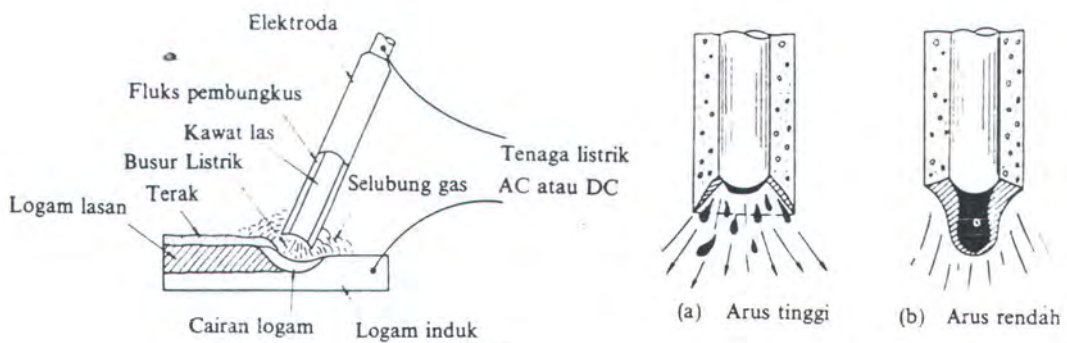
2.2.1. Pengelasan Elektrode Terbungkus

Pengelasan elektrode terbungkus yang biasanya dikenal dengan pengelasan SMAW ialah proses pengelasan dengan busur nyala listrik, dimana panas didapat dari busur nyala yang memancar antara elektrode dengan selubung flux dan benda kerja, (Soewefy, 1992). Busur nyala atau busur api timbul bila arus las yang tertutup oleh elektrode membentur benda kerja dan menariknya sedikit, maka terbentuklah suatu busur api. Kontak ini memungkinkan suatu aliran arus dalam bentuk elektron yang berlangsung sesudah tegangan awal yang tinggi (Kenyon, 1985). Busur nyala listrik tersebut mempunyai temperatur sekitar diatas 10.000° F (Doyle, 1961). Selama proses pengelasan berlangsung penyampuran logam cair dilindungi oleh gas dan terak agar tidak terkontaminasi oleh gas lain yang ada diatmosfir. Gas pelindung dan terak tersebut berasal dari selaput elektrode atau flux. Pada waktu proses pencairan tersebut temperatur dari molten pool sekitar 1535° (Agarwal & Manghnani, 1985).

Dibandingkan dengan cara pengelasan yang lain, pengelasan dengan cara elektrode terbungkus (SMAW) banyak sekali digunakan. Beberapa faktor yang merupakan keuntungan dari penggunaan SMAW cukup luas yaitu :

- a) Cara pengelasan ini dapat dikatakan cukup fleksibel, dapat menyambung logam yang mempunyai ketebalan tipis hingga dikatakan cukup tebal dengan bermacam-macam posisi pengelasan.
- b) Lebih ekonomis karena modal yang diperlukan relatif kecil serta biaya pemeliharannya lebih murah.
- c) Penggunaan lebih mudah, sehingga tidak terlalu sukar untuk melatih calon yang belum bisa.

Terbentuknya busur pengelasan pada cara ini, dimulai dari tersentuhnya kawat elektrode ke base metal. Dengan tersentuhnya elektrode ke logam induk maka akan terjadi loncatan-loncatan partikel listrik. Karena loncatan partikel tercukup maka timbul panas yang tinggi, sehingga kawat elektrode dan base metal akan mencair. Besarnya arus lompatan elektron ini akan menentukan baik buruk hasil pengelasan. Bila arus rendah maka pemindahan elektrode cair ke *base metal* menjadi besar-besar, sedangkan pada arus yang besar pemindahan elektrode akan menjadi butiran-butiran kecil dan halus (Soewefy,1992). Pola pemindahan logam cair sangat mempengaruhi sifat mampu las dari logam. Selain itu hasil pengelasan ditentukan oleh jenis material induk dan elektrode, termasuk flux. Secara umum dapat dikatakan bahwa logam mempunyai mampu las yang tinggi bila pemindahan yang terjadi dengan butiran yang halus (Okumura,1996) . Proses pengelasan SMAW dapat dilihat pada Gambar 2.3 (Okumura,1996).



Gambar 2.3 Proses Pengelasan SMAW (Okumura,1996).

Menurut Cary (1984) secara garis besar mesin las diperinci mempunyai 4 spesifikasi seperti dibawah ini :

1. Jenis pembangkit listriknya
2. Jenis arus yang dikeluarkan AC atau DC
3. Karakteristik mesin las tersebut CC atau CV
4. Duty Cyclesnya

2.2.2 Jenis Pembangkit listrik

Arus sumber listrik pengelasan diklasifikasikan menjadi dua grup yaitu Alternating Current (AC) dan Direct Current (DC) (Gibson dan Smith, 1993). Sumber listrik AC dan DC ada 2 (dua) yaitu generator dan converter. Generator menghasilkan arus AC maupun DC. Jenis converter biasanya dikenal 2 (dua) macam yaitu transformer dan rectifier transformer. Sumber arus pengelasan AC saja dihasilkan dari converter jenis transformer sedang yang menghasilkan arus AC dan DC menggunakan jenis converter rectifier transformer. Pemilihan busur

listrik untuk arus AC atau DC perlu dipertimbangkan yang baik, apakah sumber listrik yang digunakan sesuai dengan elektrodenya.

2.2.3 Pengelasan Arus AC (Alternating Current)

Arus AC secara teori merupakan kombinasi antara DCSP dan DCRP dimana ion positif dan ion negatif berbalik secara periodik 50 kali per detik. Besarnya arus AC sering tidak sama, karena disebabkan adanya lapisan kotoran yang menjadi penghalang arus pada permukaan benda kerja sehingga terjadi ketidakseimbangan antara besarnya arus yang mengalir. Untuk mengatasi hal ini digunakan arus bolak-balik berfrekuensi tinggi yang akan mempermudah penghantaran arus listrik pada saat “Reverse Polarity” sedangkan aliran arus pada “Straight Polarity” sangatlah mudah (Triyanto, 1999).

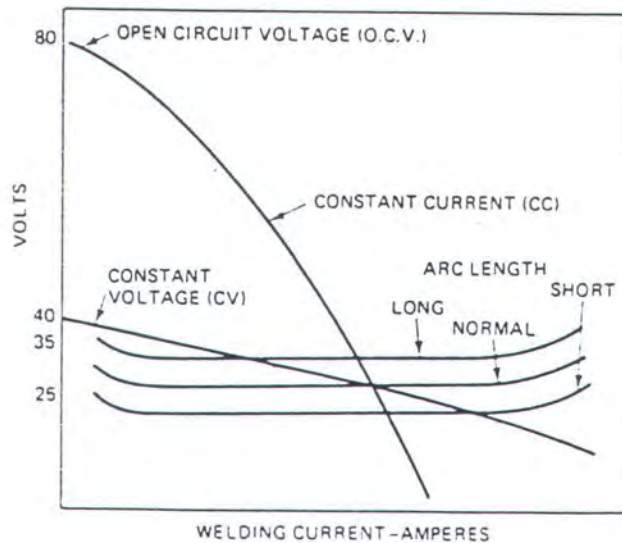
2.2.4 Pengelasan Arus DC (Direc Current)

Pengelasan dengan tipe ini busur yang dihasilkan akan lebih mantap, apalagi dipakai untuk pengelasan plat yang tipis. Penggunaan Arus DC bisa dibagi menjadi 2 (dua) macam yaitu dengan rangkaian polarisasi searah (DCSP) dimana kutub positif dihubungkan dengan base metal dan kutub negatif dengan elektrode dan kutub negatifnya dengan base metal. dan kutub negatif dengan elektrode. Dengan pengelasan kutub DCSP maka panas yang ditimbulkan oleh pengelasan akan lebih banyak pada base metal sehingga akan menghasilkan penetrasi yang dalam dan cocok untuk pengelasan plat tebal. Panas yang diserap adalah 30% pada elektrode dan 70% pada base metal. Kedua adalah rangkaian

polaritas balik (DCRP), dimana kutub positif dihubungkan dengan elektrode dan kutub negatifnya dengan base metal. Pada DCRP panas akan dipakai mencairkan elektrode 70% dan base metal 30% sehingga pengelasan tersebut adalah *shallow penetration* (Soeweify,1992).

2.2.5 Mesin Las CC dan CV

Menurut Soeweify (1992) untuk karakteristik tegangan dari arus pengelasan yang keluar dari mesin las dibedakan menjadi 2 (dua) macam yaitu Contant Current (CC) dan Constant Voltage (CV). Gambar 2.4 Memperlihatkan karakteristik untuk CC dan CV.



Gambar 2.4 Diagram CC dan CV (Carry, 1984)

Kedua karakterisitk tersebut berbeda satu dengan yang lainnya, dengan karakteristik ini akan dapat dibedakan mesin las tersebut dipakai untuk mesin las

manual atau semi otomatis dan otomatis. Curva *contant current* menggambarkan mesin las mengeluarkan maksimum *voltage* sekitar 90 Volt pada keadaan tanpa beban, kemudian menurun voltasenya ketika diberi beban, dengan besarnya open *voltage* ini daya yang dipakai harus besar. Sedangkan ampere pengelasan akan tidak berubah banyak, bila panjang busurnya berubah-ubah dari *long*, normal dan *short*.

Sedangkan curva *constan voltage* agak landai kebawah dan pada saat open *sirkuit voltage* sudah menunjukkan *voltage* yang rendah sekitar 40 volt sehingga watt yang digunakan relatif lebih kecil. Karena landai tersebut maka perbedaan panjang busur yang sedikit saja akan menimbulkan perbedaan ampere yang besar sehingga perbedaan panjang busur sedikit saja akan menimbulkan perbedaan panas yang dihasilkan. Oleh sebab itu maka pada pengelasan SMAW tidak digunakan tipe CV ini, mesin las semi otomatis & otomatis menggunakan tipe ini.

2.2.6 Dutycycle

Hal ini sangat penting bagi para pemakai mesin las sebab dengan *dutycycle* yang rendah, bila dipakai terus menerus akan mengakibatkan mesin las rusak, akan tetapi sebaliknya dengan *dutycycle* yang tinggi harga mesin las akan menjadi mahal. Yang dimaksud *dutycycle* disini adalah beberapa bagian dari waktu mesin las tersebut dipakai oleh tukang las dibanding waktu penyalaan busur. Sebagai contoh mesin dengan *dutycycle* 60% pada 100 ampere berarti mesin tersebut bila dijalankan dengan ampere 100 A maka selama 60% dari 10

menit dapat dipakai mengelas dan 40% dari 10 menit istirahat. Istirahat ini tidak perlu mesin dimatikan dan biasanya istirahat ini biasanya digunakan sebagai waktu untuk ganti elektrode membersihkan *slag* dan sebagainya. Mesin las dapat dinaikkan dutycycle-nya dengan menurunkan kapasitas amper las untuk memperpanjang waktu penyalaan (Soeweify,1992).

2.2.7 Elektroda

Elektrode adalah logam pengisi yang dilelehkan untuk mengisi celah-celah matrial yang akan dilas. Jenis elektrode tergantung dari material yang di las, bentuk pengelasan, cara pengelasan dan lainnya.

Pemilihan elektrode harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut (Soeweify,1992) :

1. Jenis logam yang akan dilas
2. Tebal plat yang akan dilas
3. Jenis Sambungan
4. Posisi las
5. Spesifikasi teknis yang diharapkan
6. Jenis arus listrik yang tersedia (AC atau DC)
7. Kecepatan pengelasan yang diharapkan

2.2.8 Fluks

Elektrode untuk pengelasan SMAW baik dengan menggunakan arus AC ataupun DC terbuat dari campuran logam yang luarnya dilapisi oleh serbuk yang

biasanya disebut Fluks. Fluks tersebut bermacam-macam, diantaranya kapur (lime), *rutile*, *cellulose* dan biji besi dengan bahan pengikat seperti kalium silikat ataupun natrium silikat. Dengan beragamnya jenis serbuk serta jenis pengikat yang digunakan, menunjukkan beberapa sifat elektrode las, seperti elektrode asam, elektrode basah dan elektrode dengan hidrogen rendah (Soeweify, 1992). Di dalam pengelasan fluks memegang peranan penting karena fluks dapat bertindak sebagai (Okumura, 1996) :

1. Pemantap busur dan penyebab kelancaran pemindahan butir-butir cairan logam.
2. Sumber terak atau gas yang dapat melindungi logam cair terhadap udara disekitarnya.
3. Pengatur penggunaan
4. Sumber unsur-unsur paduan

Fluks terdiri dari bahan tertentu, bahan yang digunakan dapat digolongkan dalam bahan pemantapan busur, pembuat terak penghasil gas, deoksidator, unsur paduan dan bahan pengikat. Beberapa bahan fluks yang sering digunakan dan sifat-sifat utamanya dapat dilihat pada Tabel 2.1 (Okumura, 1996).

2.2.9 Standarisasi Dan Lingkup Penggunaan.

Dinegara-negara industri, elektrode las terbungkus sudah banyak yang distandarkan berdasarkan penggunaannya. Di Jepang misalnya, elektroda terbungkus untuk baja kekuatan sedang telah distandarkan sesuai standar industri Jepang (JIS). Standart di Amerika Serikat (ASTM) diadaskan pada standar

asosiasi las Amerika (AWS). Beberapa elektrode untuk baja lunak yang distandarkan menurut klasifikasi AWS-ASTM dapat dilihat di tabel 2.2 (Okumura, 1996).

Tabel 2.1 Macam dan Fungsi Bahan Fluks (Okumura,1996)

Pengaruh Bahan Fluks	Peman- tap busur	Pemben- tuk terak	Deoksi- dator	Oksi- dator	Pem- bentuk gas	Penambah- an unsur paduan	Penguat pembung- kus	Pengi- kat fluks
Selulosa			○		○		○	
Lempung Silikat	○	○						
Talek	○	○						
Titanium oksida	○	○						
Ilmenit	○	○						
Feroksida	○	○		○				
Kalsium karbonat	○	○		○	○			
Ferro mangan		○	○			○		
Mangan dioksida		○		○		○	○	
Pasir Silisium		○		○		○		
Kalium silikat	○	○						○
Natrium silikat	○	○						○

○ Fungsi utama
○ Fungsi tambahan

Standarisasi elektrode, baik dalam JIS maupun dalam ASTM didasarkan pada jenis fluks, posisi pengelasan dan arus las. Walaupun dalam membersihkan simbol agak berbeda antar akedua sistem standart tersebut, tetapi pada dasarnya adalah sama . Sebagai contoh misalnya huruf D dalam JIS dan huruf E dalam

ASTM keduanya berarti keduanya elektrode yang dimaksud adalah elektrode terbungkus. Dua angka yang pertama baik dalam JIS maupun dalam ASTM menunjukkan kekuatan terendah dari logam las hanya saja dalam JIS satuannya adalah (Kg/mm^2) sedang dalam ASTM satuannya adalah (psi). Dua angka terakhir dalam kedua sistem standart tersebut menunjukkan jenis fluks dan komposisi pengelasan (Okumura, 1996).

Tabel 2. 2 Berbagai Macam Elektrode Baja Karbon (Okumura,1996)

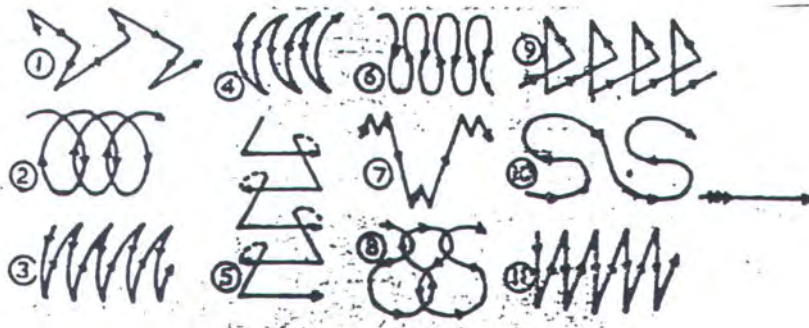
Klasifikasi AWS-ASTM	Jenis Fluks	Posisi* ¹ pengelasan	Jenis Listrik	Kekuatan tarik (kg/mm^2)	Kekuatan luluh (kg/mm^2)	Perpan- jangan (%)
Kekuatan tarik terendah kelompok E 60 setelah dilaskan adalah 60.000 psi atau 42,2 kg/mm^2						
E6010.....	Natrium selulosa tinggi	F, V, OH, H	DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6011.....	Kalium selulosa tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6012.....	Natrium titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas lurus	47,1	38,7	17
E6013.....	Kalium titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda	47,1	38,7	17
E6020.....	Oksida besi tinggi	H-S F	AC atau DC polaritas lurus AC atau DC polaritas ganda	43,6	35,2	25
E6027.....	Serbuk besi, oksida besi	H-S F	AC atau DC polaritas lurus AC atau DC polaritas ganda	43,6	35,2	25
Kekuatan tarik terendah kelompok E70 setelah dilaskan adalah 70.00 psi atau 49,2 kg/mm^2						
E7014.....	Serbuk besi, titania	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda			17
E7015.....	Natrium hidrogen rendah	F, V, OH, H	DC polaritas balik			22
E7016.....	Kalium hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik			22
E7018.....	Serbuk besi, hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	50,6	42,2	22
E7024.....	Serbuk besi, titania	H-S, F	AC atau DC polaritas ganda			17
E7028.....	Serbuk besi, hidrogen rendah	H-S, F	AC atau DC polaritas balik			22

2.3 Pergerakan Elektrode (Weaving)

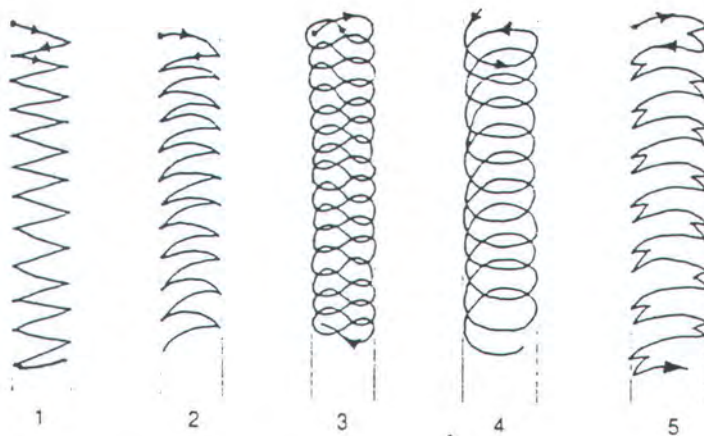
Para *welder* selalu mengembangkan cara untuk menggerakkan elektrode dengan maksud untuk memudahkan dan mempercepat pengerjaan pengelasan. Diposit dari weld metal selalu diharapkan sebaik mungkin sesuai lebar yang

diinginkan sehingga memperoleh manik-manik las yang baik. Dengan demikian *weaving* dilakukan dalam proses pengelasan sepanjang garis *weld* yang direncanakan (Agarwal & Manghnani, 1985). Menurut Davies (1993) *weaving* didefinisikan pergerakan elektrode dengan mengayunkan (*Side to side*) pada proses pengelasan, seperti pergerakan maju pada *weld* sehingga memberikan fusi yang lebih baik serta membangun kembali metal dan memberikan kekuatan dengan menebalkan *weld* sepanjang garis pengelasan sesuai dengan rencana pengelasan. *Weaving* dianjurkan pada proses pengelasan untuk menambah dilusi (*Dilution*) dan akan memperbaiki pencampuran *weld metal* dengan *parent metal*. *Weaving* juga memungkinkan untuk memberi deposit yang lebih pada *single pass*, juga tidak hanya pada pengelasan dengan *Vee groove*, tetapi juga dipakai pada *fillet weld*. Banyak macam perbedaan *weaving* yang digunakan pada proses pengelasan, tetapi yang paling penting pada pergerakan tersebut harus seragam (*Uniform*) dan tepat dalam memilih bentuk *weaving*, jika tidak akan berakibat bahaya karena menghasilkan fusi yang jelek (*Poor fusion*) pada deposit pengelasan. Berbagai macam *weaving* menurut Agarwal & Manghnani (1985) dapat dilihat pada Gambar 2.5.

Pada proses pengelasan pada suatu saat akan membutuhkan lebar *weld* sesuai dengan kebutuhan. Dengan demikian *weaving* pada elektrode yaitu menggerakkan atau mengayunkan (*Side to side*) sesuai Gambar 2.6 sangat tepat digunakan untuk memberikan besar atau komposisi *weld* antara gap *parent metal* yang akan dilas sesuai dengan lebar yang diinginkan (Gibson & Smith, 1993).



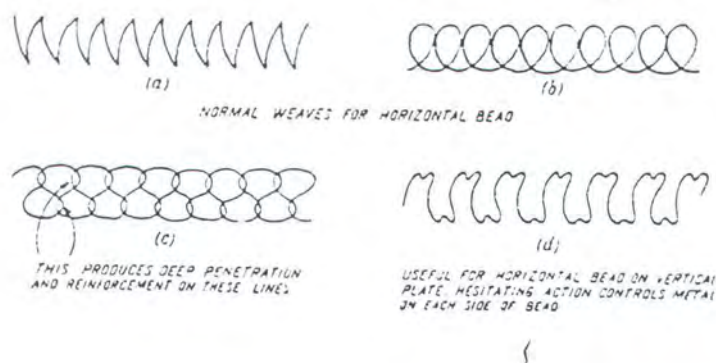
Gambar 2.5. Berbagai Macam *Weaving* (Agarwal & Manghnani , 1985)



Gambar 2.6 Berbagai Macam *Weaving* dalam Proses Pengelasan (Gibson & Smith, 1993).

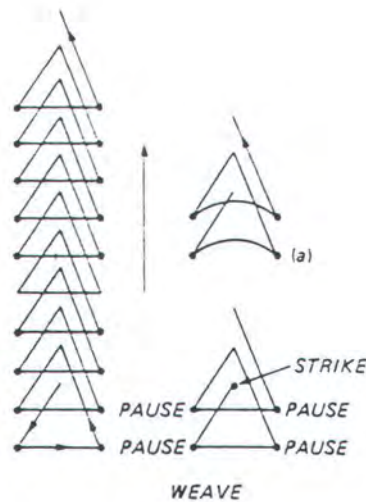
Banyak sekali perbedaan macam bentuk *weaving* dan metode yang digunakan tergantung dari *welder*, seperti contoh pada gambar 2.7.a (Davies, 1993) merupakan bentuk *weaving* yang simple sering digunakan oleh para

welder . Untuk bentuk *circular weaving* membantu untuk menembus (*Piling*) kedalam metal pada proses pengelasan. Gambar 2.7.b *Circular motion* merupakan bentuk *weaving* yang difavoritkan oleh para *welder*. Gambar 2.7.c adalah bentuk *figure of eight*. Bentuk ini memberikan penetrasi dan fusi pada *weld metal* dan menghindari slag yang biasanya terperangkap. Metode ini baik untuk menguatkan dan membangun kembali deposit pada proses pengelasan. Gambar 2.7.d merupakan bentuk *weaving* yang baik untuk dijalankan secara horisontal dan vertikal. Pergerakan *hesitating* ini memberi lebih deposit pada pengelasan. Jadi *Weaving* selain memberikan fusi dan deposit juga memberikan lebar *weld* sesuai dengan kemauan para *welder* (Davies, 1993) .



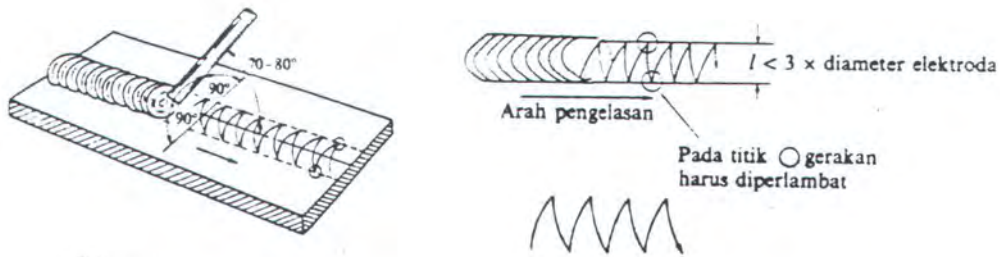
Gambar 2.7 Berbagai Macam *Weaving* (Davies,1993)

Selain itu ayunan bentuk Δ juga baik dilakukan pada proses pengelasan pada posisi horisontal dan vertikal karena mempunyai penetrasi yang baik
Gambar 2.8



Gambar 2.8 Bentuk Weaving Δ (Davies, 1993)

Menurut Okumura (1996) pergerakan elektrode (*weaving*) akan mempengaruhi proses pola pemindahan logam cair (*weld*) dimana pola pemindahan ini juga mempengaruhi sifat mampu las dari logam tersebut. Secara umum dapat dikatakan bahwa logam mempunyai sifat mampu las tinggi bila pola pemindahan menghasilkan butiran yang halus. Cara untuk menggerakkan elektrode (*weaving*) banyak sekali ragamnya, tetapi tujuannya sama yaitu mendapatkan deposit logam las dengan permukaan rata dan halus dan menghindari terjadi takikan dan percampuran terak serta untuk mendapatkan semacam anyaman atau lipatan manik las. Dalam ayunan ini, lebar las dibatasi sampai tiga kali besarnya diameter elektrode seperti ditunjukkan dalam gambar 2.9 (Okumura, 1996). Mohler (1983) juga mengatakan bahwa pergerakan elektrode dimaksudkan untuk membantu memberi fusi yang baik pada hasil las-lasan.



Gambar. 2.9 Gerakan Weaving dan Lebar Ayunan (Okumura,1996).

2.4 Siklus Termal Daerah Lasan

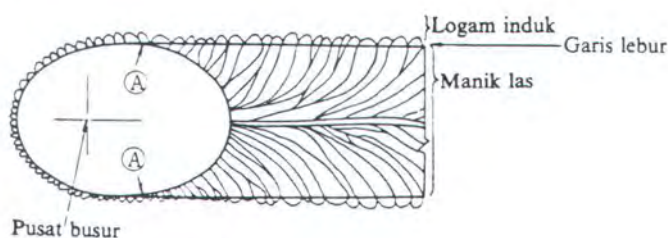
Daerah lasan terdiri dari 3 bagian yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas (Heat Affected Zone) dan logam induk yang tak terpengaruhi . Logam Las adalah bagian logam yang yang pada waku pengelasan mencair dan kemudian membeku. Daerah pengaruh padnas atau daerah HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Logam induk tak terpengaruh adalah bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Disamping itu ada ada daerah khusus yang membatasi antara logam las dan daerah pengaruh panas, yang disebut batas las.

2.4.1 Pembekuan dan Sturktur Logam Las

Dalam pengelasan cair bermacam-macam cacat terbentuk dengan logam las, misalnya pemisahan atau segregasi, lubang halus dan retak. Banyaknya dan

macamnya cacat yang terjadi tergantung dari pada proses pendinginan dalam pengelasan hampir sama dengan pendinginan dalam proses pengecoran. Perbedaannya adalah kecepatan pendinginan dalam las lebih tinggi, sumber proses pengelasan, pencairan dan pembekuan terjadi secara terus menerus dan pembekuan logam las mulai dari dinding logam induk yang disamakan dengan dinding cetakan pengecoran.

Dalam Gambar 2.10 ditunjukkan secara skematik proses pertumbuhan dari kristal-kristal logam yang terbentuk pilar. Titik A dari gambar tersebut adalah titik mula dari struktur pilar yang selalu terletak dalam logam induk. Titik ini tumbuh menjadi garis lebur dengan arah yang sama dengan gerakan sumber panas. Pada garis lebur sebagian dari logam dasar turut mencair dan selama proses pembekuan logam las tumbuh pada butiran-butir logam induk dengan sumbu kristal yang sama.



Gambar 2.10 Arah Pembekuan Dari Logam Las (Okumura, 1996)

2.4.2 Reaksi Metalurgi Yang Terjadi Dalam Bentuk Pembekuan

a. Pemisahan

Didalam logam las terdapat tiga jenis pemisahan yaitu pemisahan mikro, pemisahan gelombang dan pemisahan makro. Pemisahan Makro adalah perubahan komponen secara berlahan-lahan yang terjadi mulai dari sekitar garis lebur menuju kegaris sumbu las, sedangkan pemisahan gelombang adalah perubahan komponen karena pembekuan yang terputus yang terjadi pada proses terbentuknya gelombang manik las. Pemisahan mikro adalah perubahan komponen yang etrjadi dalam satu pilar atau dalam bagian dari satu pilar.

b. Lubang –lubang halus

Lubang –lubang halus terjadi karena adanya gas yang tidak laru dalam logam padat. Lubang-luang tersebut disebabkan karena tiga macam cara pembentukan gas sebagai berikut pertama adalah pelepasan gas karena perbedaan batas kelarutan antara logam cair dan logam padat pada suhu pembentukan, yang kedua adalah terbentuknya gas karena adanya reaksi kimia didalam logam las dan yang ketiga penyusupan gas kedaam atmosfir busur.

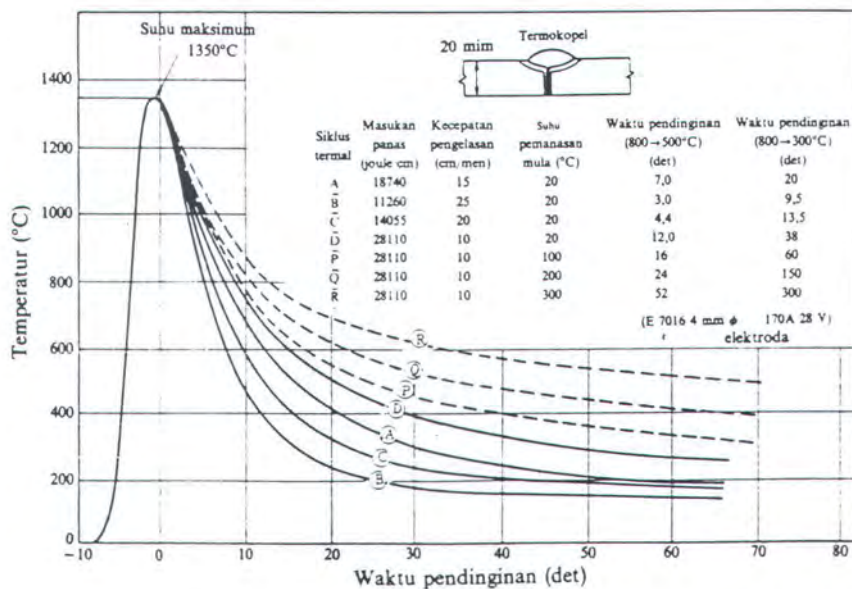
c. Proses Deoksidasi

Sebenarnya hanya sejumlah kecil oksigen yang larut dalam baja, tetapi karena tekanan disosiasi dari kebanyakan oksida sangat rendah, maka umumnya akan terbentuk oksida-oksida yang stabil. Karena pengukuran yang tepat untuk mengetahui jumlah oksigen yang larut dalam baja sangat sukar, maka untuk melepaskan oksigen dari larutan, biasanya dilakukan usaha-usaha

seperti menghilangkan oksida. Proses menghilangkan oksida ini disebut deoksidasi. Ketangguhan logam las turun dengan naiknya kadar oksigen, karena itu harus selalu diusahakan agar logam las mempunyai kadar oksigen yang serendah-rendahnya.

2.4.3 Siklus Termal Las

Siklus termal las adalah proses pemanasan dan pendinginan di daerah lasan. Sebagai contoh dalam Gambar 2.11 Ditunjukkan siklus termal daerah lasan dengan kondisi pengelasan yang berbeda. Lamanya pendinginan dalam suatu daerah temperatur tertentu dari suatu siklus termal lasan sangat mempengaruhi kualitas sambungan. Karena ini banyak sekali usaha –usaha penekatan untuk menentukan lamanya waktu pendinginan tersebut.



Gambar 2.11 Siklus Termal Dalam Las Busur Tangan (Okumura, 1996)

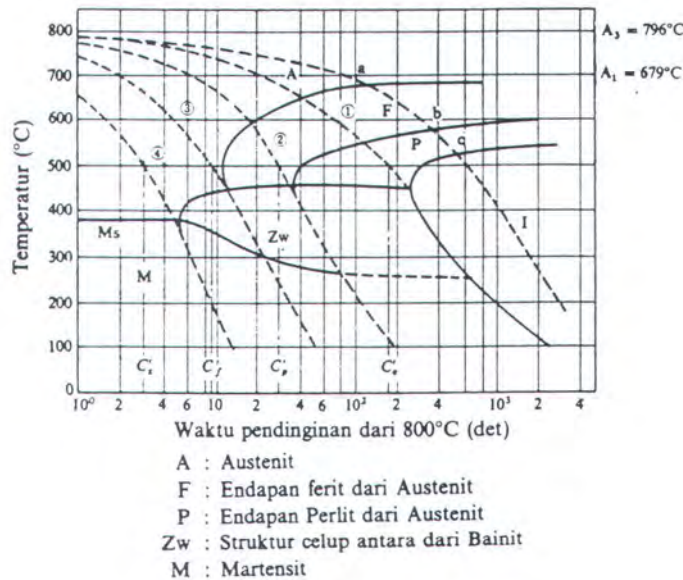
Struktur mikro dan sifat mekanik dari daerah HAZ sebagian besar bergantung pada lamanya pendinginan dari temperatur 800 °C sampai 500 °C. Sedangkan retak dingin, dimana hidrogen memegang peranan penting, terjadi sangat tergantung oleh lamanya pendinginan dari temperatur 800 °C sampai 300 °C atau 100 °C.

2.4.4 Struktur Mikro Daerah HAZ

Struktur, kekerasan dan berlangsungnya transformasi dari daerah HAZ dengan dibaca dengan segera pada diagram transformasi pendinginan berlanjut atau diagram CCT. Diagram ini dapat digunakan untuk membahas pengaruh struktur terhadap retak las, keuletan dan lain sebagainya, yang kemudian dapat dipakai untuk menentukan prosedur dan cara pengelasan.

Suatu contoh dari diagram CCT ditunjukkan dalam Gambar 2.12 disini ditunjukkan hubungan antara suhu mula dan suhu akhir transformasi dengan lama pendinginan dari 800 °C, untuk baja kuat (5 Kg/mm^2) yang dipanaskan cepat temperatur 1300 °C dan kemudian didinginkan dengan bermacam-macam kecepatan pendinginan. Garis putus menunjukkan beberapa contoh siklus termal las, yang bila digabungkan dengan garis tebal diagram CCT seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.12 dapat menunjukkan tahap-tahap transformasi selama pendinginan dan dapat dipakai meramalkan struktur akhir yang terbentuk. Untuk contoh jika dalam siklus termal las 1, bila baja ditelah didinginkan sampai titik a (680 °C), maka ferit mulai diendapkan dari austenit. Transformasi ini diteruskan dan berakhir dititik b (590 °C) dicapai dan kemudian diganti dengan

transformasi pengendapan perlit yang akan berakhir pada titik C (520°C). Dari ini dapat diramalkan bahwa setelah pendinginan struktur yang terbentuk adalah ferit dan perlit.



Gambar 2.12 Diagram CCT Pada Pengelasan Baja Kuat BJ 55 (Okumura,1996)

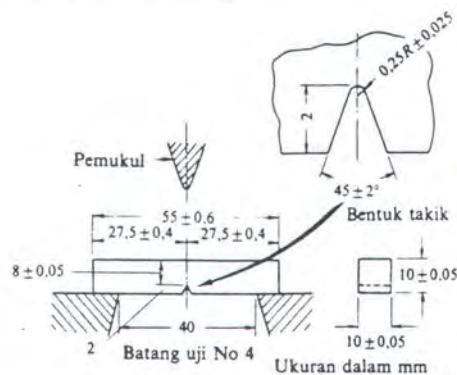
2.5 Ketangguhan Daerah Lasan

2.5.1 Ketangguhan lasan

Kepekaan terhadap patah getas adalah masalah besar pada baja. Bila patah getas ini terjadi pada baja dengan daya tahan yang rendah, patahan tersebut dapat merambat dengan kecepatan 2000 m/detik, yang dapat menyebabkan kerusakan dalam waktu yang sangat singkat sekali. Dalam hal sambungan las, patah getas ini menjadi penting lagi karena adanya faktor-faktor yang membantu seperti:

kosentrasi tegangan, struktur yang tidak sesuai dan adanya cacat dalam lasan. Berhubungan dengan hal ini maka dalam usaha mempertinggi ke amanan las, perlu adanya penilaian ketahan daerah las terhdap patah getas.

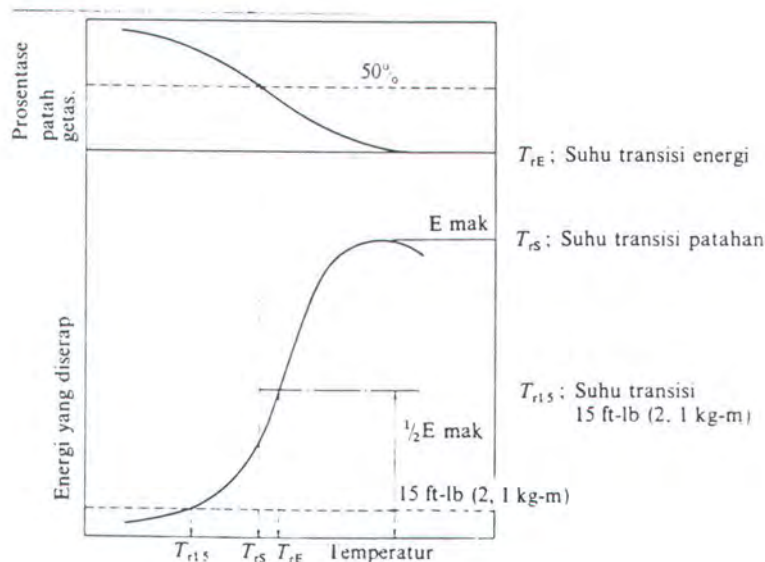
Untuk menilai ketahanan getas daerah lasan perlu adanya pengujian yang juga mempertimbangkan fakor-faktor dinamis yang dapat mempengaruhi patah getas. Seperti kecepatan regang, takik, tebal pelat, tegangan sisa, kosentrasi tegangan dan regangan dan lain sebagainya. Untuk menampung hal-hal dinamik ini perlu pengujian dengan skala besar, baik dalam jumlah maupun dalam dimensi. Tetapi dipandang dari sudut ekonomi hal ini tidak mungkin dilakukan, karena itu dibuat pengujian skala kecil yang distandarkan yang disebut pengujian takik. Pengujian takik yang sering dillakukan antara lain uji tumbuk Charpy dengan takik V-2 mm seperti pada Gambar 2.13. Uji tumbuk Charpy dengan takik berbentuk V-2 mm secara umum menentukan kekuatan takik skala kecil dan merupakan ketangguhan dari bahan uji.



Gambar.2.13 Uji Tumbuk Charpy Dengan Takik V-2 mm (Okumura, 1996)

Ketangguhan dari daerah lasan biasanya dinyatakan dengan energi yang terserap (vE atau vE_0) atau temperatur transisi patah ($vTrs$), temperatur transisi

energi beberapa puluh tahun data-data uji Charpy ini telah terkumpulkan banyak sekali dan dari data tersebut struktur sebenarnya baja dapat diperkirakan secara empiris. Ketanguhan juga merupakan tahanan logam terhadap patah getas dinamakan tahanan patah. Untuk baja karbon tahanan patahnya menurun dengan cepat dengan menurunnya suhu baja. Jadi dalam hal ini terjadi perubahan dari patah ulet ke patah getas yang tergantung pada temperatur. Karena hal ini maka temperatur terjadinya perubahan tersebut dinamakan temperatur atau suhu transisi. Dalam Gambar 2.14 ditunjukkan besarnya tahanan patah yang diukur dengan besarnya energi yang diserap. Suhu dimana terjadinya patahan dengan setengah energi maksimum dinamakan suhu transisi T_{re} dan ini berhubungan dengan pengujian Charpy untuk mengetahui energi yang terserap.



Gambar 2.14 Hubungan Antara Prosentase Patah Getas dan Energi yang Diserap dengan Temperatur Pengujian (Charpy takik V-2 mm) (Okumura,1996)

“Allah meninggikan orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat. Dan Allah mengetahui apa yang kamu kerjakan.

(QS. Al-Mujadillah:11)

BAB III



METODOLOGI PENGUJIAN KONSTRUKSI LAS

BAB III

METODOLOGI PENGUJIAN KONSTRUKSI LAS

3.1 Pendahuluan

Pengujian yang dilakukan dalam menganalisa hasil pengelasan dengan berbagai macam ayunan yaitu ayunan C, O dan Δ dengan menggunakan material baja karbon SM 50 dengan pengelasan SMAW yang meliputi dua pengujian yaitu pengujian merusak (*Non Destructive Test*) yang terdiri dari pengujian pengamatan Visual dan *macroetsa test*. Pengujian merusak (*Destructive Test*) yang terdiri dari pengujian kekerasan (*Hardness Test*) dan *Impac Test*

Tujuan dari pengujian ini semua untuk mengetahui kemungkinan cacat yang terjadi pada hasil lasan dari ketiga prosedur pengelasan dan untuk mengetahui sifat mekanik dari lasan yang menggunakan ayunan C, O dan Δ . Sehingga data dari analisa hasil uji dapat membandingkan dari ketiga prosedur pengelasan tersebut. Hasil yang diharapkan dapat mengetahui salah satu yang paling baik dari ketiga model ayunan pengelasan.

3.2. Persiapan

Pengelasan terdiri dari tiga prosedur pengelasan yang berbeda pada cara mengayunkan elektrode (*Weaving*). Total material ada tiga macam material yang dilas dengan ayunan bentuk C, O dan Δ .

3.2.1 Prosedur Pengelasan WPS (Welding Procedure Specification)

Dalam melakukan pengelasan suatu konstruksi harus melakukan rencana atau prosedur pengelasan suatu konstruksi baja. Dalam eksperimen yang dilakukan harus memenuhi Welding Procedure Specification (WPS). Dalam pengelasan ini prosedur yang dilakukan adalah sama *weaving* C dan O kecuali cara mengayun (*weaving*) Δ elektrode pada benda kerja atau material (Lampiran 1). Jadi ada tiga material yang dilas dengan tiga ayunan yang berbeda seperti berikut:

a. Material I

Bentuk ayunan elektrode (*Weaving*) dengan ayunan C seperti pada Weaving Detail pada lampiran 1 dan merupakan spesimen I

b. Material II

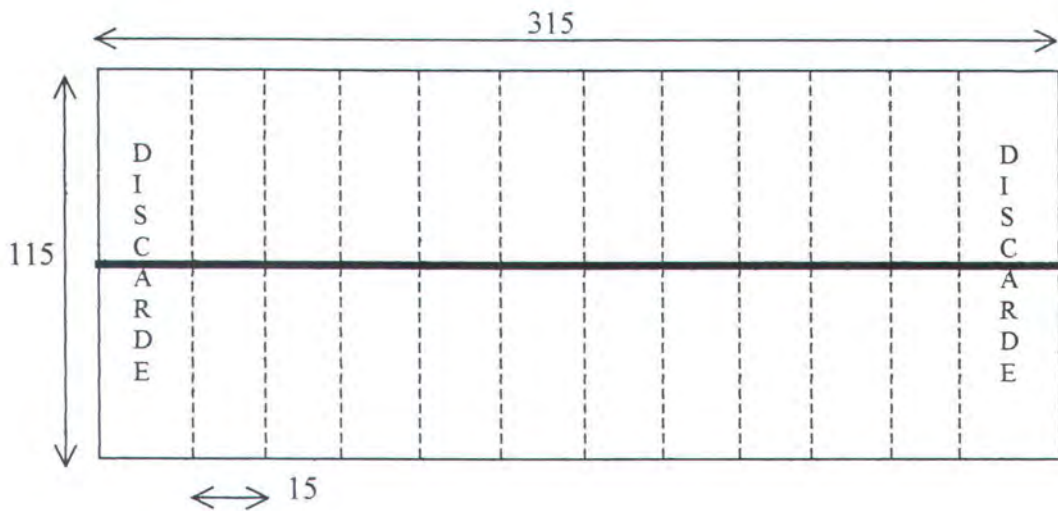
Bentuk ayunan elektrode (*Weaving*) dengan ayunan O seperti Weaving Detail pada lampiran 1 dan merupakan spesimen II

c. Material III

Bentuk ayunan elektrode (*Weaving*) dengan ayunan Δ seperti Weaving Detail pada lampiran 1 dan merupakan spesimen III

3.2.2 Pemotongan Spesimen Pengujian.

Pengelasan yang dilakukan terdiri dari tiga prosedur pengelasan sehingga membutuhkan 9 material Work Piece. Setelah itu setiap Work Piece diambil spesimen sehingga total ada 30 spesimen untuk kebutuhan pengujian. Pembagian material uji seperti pada pemotongan pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Pemotongan Spesimen Uji

3.3 Pengujian Hasil Lasan

3.3.1 Tidak Merusak (Non Destruktive Test)

3.3.1.1 Pengamatan Visual

Pengamatan dilakukan dengan kaca pembesar dengan melihat secara visual hasil las-lasan apa terjadi cacat pengelasan, seperti under cut, crack, porositas, spetter, Incomplete penetration dan Incomplete fusion. Kreteria penerimaan uji visual sesuai dengan AWS D.1.1-1998 yaitu bebas dari overlap, *crack* dan *undercut* tidak lebih dari 1 mm dan *weld reinforcement* tidak lebi dari 3 mm.

3.3.1.2 Pengujian Makroetsa

Macroetsa test dilsakukan untuk melihat besar HAZ dan batas antara HAZ, *weld metal* dan *base metal* pada tiap-tiap material yang telah dilakukan

pengelasan dengan perlakuan *weaving* yang berbeda. Disamping itu macroetsa juga dilakukan untuk persiapan pengujian *hardness* untuk mengetahui titik yang akan dilakukan pengujian kekerasan terutama pada daerah HAZ dan *weld metal*. Menurut AWS D.1.1-1998 kriteria makroetsa tidak boleh ada *crack* melebihi 1mm, porositas tidak melebihi 1 mm, *accumulation porosity* tidak melebihi 6 mm, tidak ada *accumulation slag*.

a. Prosedur Pengujian

Melakukan macro etsa untuk material lasan juga untuk mengetahui cacat yang terjadi , batas-batas antara daerah *weld metal*, HAZ, *base metal* dan Lebar HAZ dengan langkah sebagai berikut:

1. Setelah material dipotong menjadi specimen uji dilakukan penggerindaan.
2. Selanjutnya dilakukan penggosokan dengan kertas ampelas No. 400,800, 1000 sehingga mengkilap.
3. Setelah permukaan yang mengkilap diolesi dengan larutan etsa yang merupakan campuran antara alkohol dan asam nitrit dengan perbandingan 1:1
4. Lalu dibersihkan dengan alkohol sehingga terlihat batas-batas antara *weld metal* , HAZ dan *base metal*. Selanjutnya dikeringkan dengan hair dryer.



3.3.2 Pengujian Merusak (Destruktive Test)

3.3.2.1 Pengujian Kekerasan

Kekerasan merupakan ukuran ketahanan bahan terhadap deformasi tekan . Sebuah indentor yang keras ditekan ke permukaan logam yang diuji. Deformasi yang terjadi merupakan kombinasi perilaku elastis dan plastis, akan tetapi kekerasan umumnya berkaitan dengan sifat plastis dan hanya sebagian kecil bergantung pada sifat elastis. Untuk itu kekerasan suatu bahan merupakan salah satu sifat mekanis yang penting. Dalam engineering, yang menyangkut logam, kekerasan sering dinyatakan sebagai berikut:

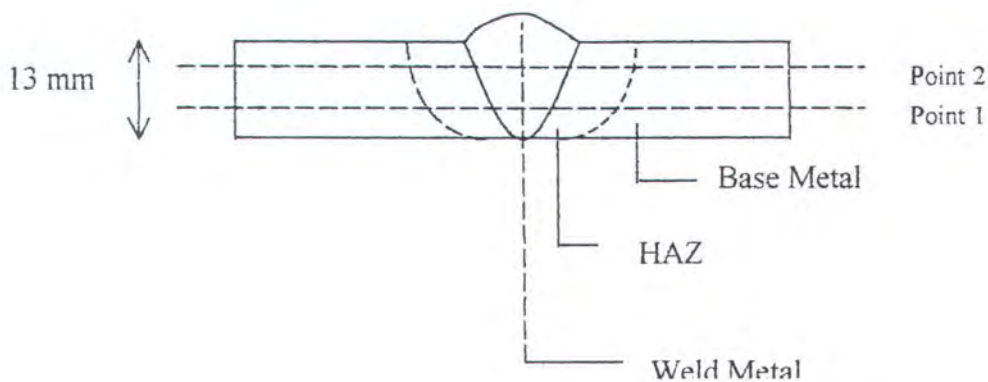
1. Ketahanan terhadap identasi permanen akibat beban dinamis atau statis kekerasan identasi.
2. Energi yang diserap pada beban impact-kekerasan pantul.
3. Kekerasan terhadap goresan-kekerasan goresan.
4. Ketahanan terhadap abrasi-kekerasan abrasi.
5. Ketahanan terhadap pemotongan atau pengeboran.

Pengujian kekerasan berdasarkan material yang lebih keras dapat menggores material yang lebih lunak, oleh sebab itu hasil pengujian bersifat relatif. Angka kekerasan dinyatakan dengan skala Mohs yaitu material yang terluak dengan angka 1, dan Diamond material yang terkeras dengan angka 10.

Ada beberapa cara pengujian kekerasan yang tersandar yang digunakan untuk menguji kekerasan logam yaitu pengujian Brinnell, Rockwell, Vicker dan Mikro Hardness.

- 1.2 Selanjutnya dilakukan penggosokan dengan kertas ampelas No. 400,800, 1000 sehingga mengkilap.
- 1.3 Setelah permukaan yang mengkilap diolesi dengan larutan etsa yang merupakan campuran antara alkohol dan asam nitrit dengan perbandingan 1:1
- 1.4 Lalu dibersihkan dengan alkohol sehingga terlihat batas-batas antara weld metal , HAZ dan base metal. Selanjutnya dikeringkan dengan *hair dryer*.

2. Penekanan titik daerah uji.



3. Beban uji adalah 10 Kg dan selama pembebanan uji berlangsung mesin uji harus terhindar dari sentakan.

b. Ketebalan Spesimen

Ketebalan spesimen pada pengujian kekerasan adalah 13 mm baja karbon.

3.3.2.1.1 Pengujian Kekerasan Vickers

Pada pengujian kekerasan Vickers digunakan indentor intan yang berbentuk piramid. Sudut puncak piramid 136^0 . Angka kekerasan vickers adalah beban (P) dibagi luas indentasi (A) yaitu:

$$H_v = \frac{P}{A}$$

dimana
$$A = \frac{d^2}{2 \cos 22^0} = \frac{d^2}{1,8544}$$

jadi
$$H_v = 1,8544 \frac{P}{d^2}$$

dimana H_v = angka kekerasan vickers (kg/mm^2)

P = beban yang besarnya (5,10,20,50,100 atau 200kg)
tergantung ketebalan spesimen

A = luas indentasi (mm^2)

d = diagonal rata-rata indentasi (mm)

a. Prosedur Pengujian

Pada waktu mulai pengujian kita harus mengetahui dan melakukan langkah kerja pengujian kekerasan pada material lasan :

1. Melakukan macro etsa untuk material lasan untuk mengetahui batas-batas antara daerah *weld metal*, *HAZ*, *base metal* dengan langkah sebagai berikut:

- 1.1 Setelah material dipotong menjadi specimen uji dilakukan penggerindaan.

c. Jarak Antara Identasi

Jarak antara identasi yang satu terhadap yang lain dan antara tepi identasi terhadap tepi spesimen harus lebih besar dari $2d$.

3.3.2.1 Pengujian Ketangguhan

Kekuatan tumbuk dari suatu bahan adalah kemampuan bahan menerima beban tumbuk yang diukur dengan besarnya energi yang diperlukan untuk mematahkan batang uji dengan palu ayun atau uji impact . Jelas disini bahwa kekuatan tumbuk adalah sifat logam yang sama dengan ketangguhan.

3.3.2.1.1 Pengujian Impact

Impact test bisa diartikan sebagai sesuatu tes yang mengukur *toughness* atau kekeyalan suatu material, yaitu kemampuan suatu material untuk menyerap energi sebelum terjadi kepatahan. Dalam hal ini energi di dapat dari suatu bandul yang mempunyai ketinggian tertentu dan berayun memukul benda tes, berkurangnya energi potensial dari bandul sebelum dan sesudah memukul benda uji merupakan energi yang dapat diserap oleh benda uji tersebut.

Takik atau notch memegang peranan penting terhadap kekuatan impact suatu material. Dua buah benda kerja yang mempunyai luas penampang, penahanan beban yang sama bisa mempunyai kekuatan impact yang jauh berbeda akibat perbedaan bentuk teknik yang dimiliki. Adanya takikan pada benda kerja yang bisa berupa bentuk konfigurasi hasil disain. Pengerjaan yang salah seperti dekontinuitas pada pengelasan, atau korosi lokal bisa bersifat sebagai pemusatan

tegangan (*stress konsentrasi*). Adanya pusat tegangan ini dapat menyebabkan *brittle* material menjadi patah pada beban dibawah *yield strength*.

Fracture atau kepatahan pada suatu material bisa digolongkan sebagai *brittle* atau *ductile fracture*. Suatu material yang mengalami kepatahan tanpa mengalami suatu deformasi plastis dikatakan patah secara *brittle*, sedang apabila kepatahan di dahului dengan suatu deformasi plastis dikatakan mengalami *ductile fracture*. Material yang mengalami *brittle fracture* hanya mampu menahan energi yang kecil saja sebelum mengalami kepatahan.

Ketahanan suatu material menahan energi impact sangat dipengaruhi juga oleh temperatur kerja. Effect dari temperatur kerja terhadap kekuatan impact pada beberapa jenis material. Sedang baja kekuatana tinggi (*High Tensile Strength*) merupakan material yang memiliki ketahanan impact yang rendah pada range temperatur yang luas pada suhu yang rendah. Material-material seperti polymer, ceramic dan logam BCC mempunyai suatu range temperatur tertentu yang menunjukkan perubahan kekuatan impact yang menyolok dengan berubahnya temperatur. Pada Pengujian ini digunakan suhu rendah yaitu 0° untuk mendapatkan kondisi *brittle material*, sehingga lebih jelas dalam analisa studi perbandingan.

Bermacam-macam jenis baja, sebagaimana halnya logam BCC mempunyai suatu temperatur transisi, dimana disini energi adalah minimum. *Trantision temperature* ini merupakan suatu temperatur yang penting sekali, karena disini terjadi perubahan sifat dari logam yang *brittel* menjadi *ductile* dan sebaliknya.

Apabila temperatur operasi dari suatu peralatan beras dibawah transition temperatur dari metal yang digunakan, maka adanya *crack* pada material *fracture* dan kerusakan pada peralatan, sedang apabila temperatur operasi terendah masih diatas temperatur transisi dari material, maka brittle fracture tidak akan merupakan masalah.

Ukuran kristal yang kasar *Stain Herdening* dan elemen-elemen tertentu seperi cenderung untuk menaikkan transition temperatur dari baja, sedang ukuran kristal kecil, dan elemen-elemen tertentu seperti Mn, Ni memperendah *transition temperature*. Disamping hal tersebut micro structure dari baja juga mempengaruhi trasion temperatur ini. Temperatur merupakan mikro struktur yang paling baik untuk pemakaian pada temperatur rendah.

Metode pengujian Impact yang umum dipakai adalah metode charpy batang uji ditunjukkan pada kedua ujungnya, diletakkan horizontal dan arah pemukulan searah dengan takikan .

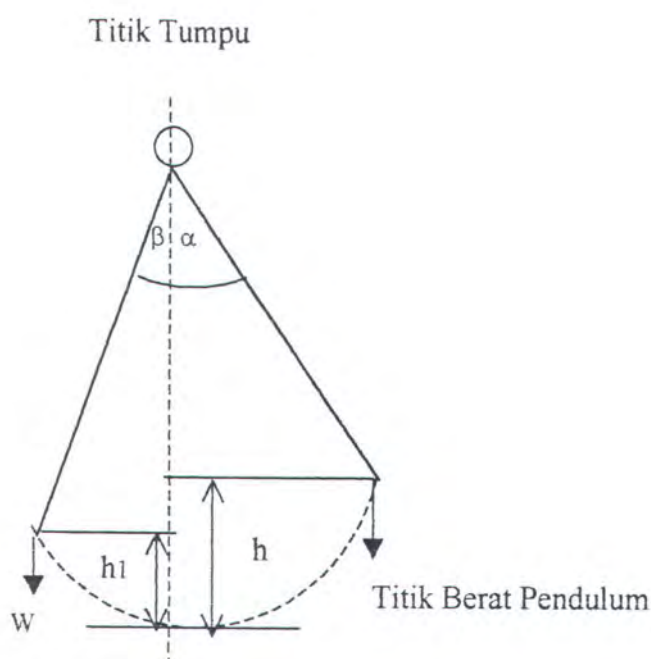
Kekuatan Impact suatu bahan didefinisikan sebagai energi yang digunakan untuk mematahkan batang uji dibagi dengan luas penampang pada daerah takikan. Energi untuk mematahkan batang uji dihitung berdasarkan berat dan ketinggian ayunan pendulum sebelum dan setelah Impact. Tanpa memperhatikan kehilangan energi. Energi yang dipakai untuk mematahkan material uji dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{- Energi awal (E}_0\text{)} : W_h = Wl(1 - \cos \alpha) \dots\dots\dots 1$$

$$\text{- Energi akhir (E}_1\text{)} : W_h = Wl(1 - \cos \beta) \dots\dots\dots 2$$

Energi untuk mematahkan material uji adalah :

$$(E) = W(h - h_1) = Wl(\cos\beta - \cos\alpha)(\text{kg}) \dots\dots\dots 3$$



Dimana :

W = berat dari pendulum (kg)

h = ketinggian pendulum sebelum diayun (m)

h_1 = ketinggian pendulum sebelum patah (m)

α = sudut awal ($^{\circ}$)

β = sudut akhir ($^{\circ}$)

l = jarak antara titik berat dari pendulum kesumbu
jarak o (m).

Dan akhirnya kekuatan Impact dari logam dapat dihitung dengan rumus :

$$IS = \frac{WI(\cos\beta - \cos\alpha)}{A} \quad (\text{kg/mm}^2)$$

Dimana : A = luas penampang test place pada bagian yang tertakik
(mm²).

Impact strength akan tergantung pada komposisi bahan pada proses pembuatannya. Untuk ini temperatur material uji pada percobaan hubungannya dengan kesimpulan tes.

a. Tujuan

Tujuan dalam pengujian ini adalah mengetahui kemampuan ketangguhan hasil lasan dengan perlakuan ayunan lasan yang berbeda dalam menyerap energi sebelum terjadi kepatahan. Sehingga dalam menganalisa hasil uji dilakukan studi perbandingan dari beberapa macam prosedur pengelasan dengan menggunakan berbagai macam *weaving*.

b. Prosedur Pengujian

Persiapan Spesimen Pengujian

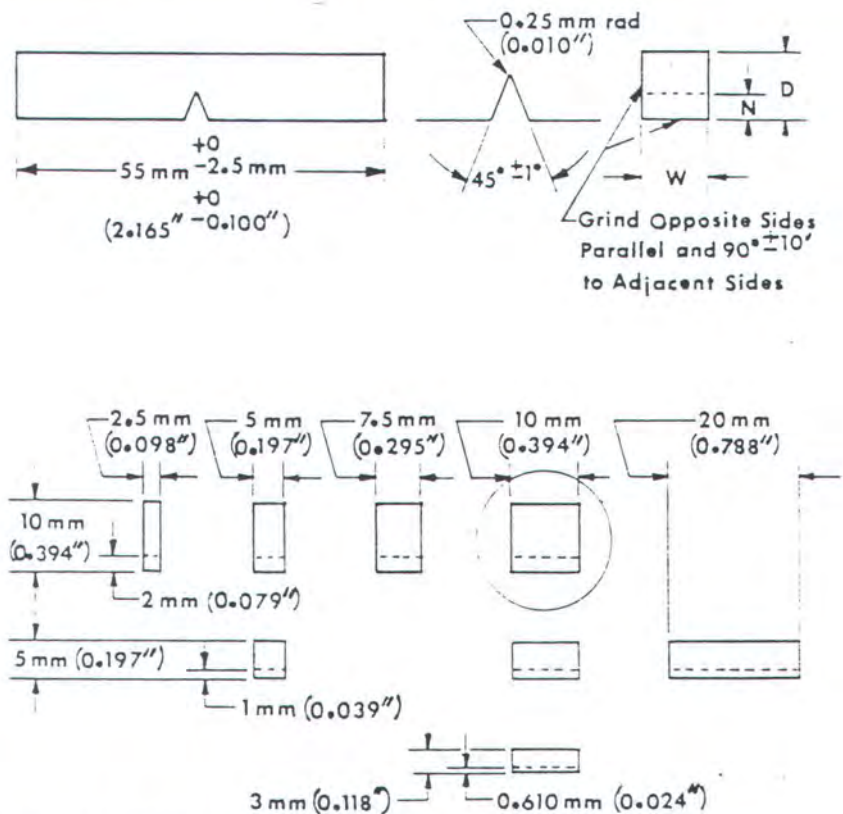
1. Dengan spesimen yang sama, setelah dilakukan pengujian kekerasan selanjutnya dilakukan pengerjaan untuk pembentukan spesimen Charpy impact test.
 2. Dimensi spesimen Charpy Impact test dibuat sesuai dengan standar ASTM-23.E Seperti pada Gambar 3.1. Memeriksa ulang pada spesimen
-

untuk menghindari kemungkinan terjadi cacat fisik. Sehingga jika tidak sesuai dengan standarisasi yang digunakan maka dilakukan pengukuran ulang pada specimen yang meliputi panjang, lebar dan tebal.

3. Menghitung Luas penampang (A) tepat pada takikannya (Notch):

$$A = \text{Lebar} \times (\text{Tebal} - \text{Kedalaman Notch})$$

4. Pengujian dilakukan pada temperatur 0° yang dibuat dengan mencampurkan alkohol dengan es, suhu ruang dan suhu panas 100° dengan memanaskan material dengan *glysirerin* yang dipanaskan.



NOTE 1—Circled specimen is the standard specimen (see Fig. 6).

NOTE 2—Permissible variations shall be as follows:

Cross-section dimensions	$\pm 1\%$ or ± 0.075 mm (0.003 in.), whichever is smaller
Radius of notch	± 0.025 mm (0.001 in.)
Depth of notch	± 0.025 mm (0.001 in.)
Finish requirements	2 μ m (63 μ in.) on notched surface and opposite face; 4 μ m (125 μ in.) on other two surfaces

Gambar 3.1 Spesimen Impact (ASTM- 23E, 1994)

c. Pemasangan Spesimen Pengujian

1. Mengangkat pendulum keatas dengan membentuk sudut α dan menguncinya.
2. Memasang spesimen pengujian pada tempatnya dengan posisi Notch tepat pada tengah-tengah, sehingga saat dilepas dari pengunci pendulum akan memukul spesimen tepat pada notchnya.
3. Mengatur jarum skala penunjuk tepat pada posisi yang telah ditentukan untuk pengujian.

d. Pelaksanaan Pengujian.

1. Menekan dan memutar tuas pengunci sehingga pendulum akan terlepas dari tempatnya dan berayun kebawah dan memukul spesimen uji
2. Dilihat dan dicatat besarnya energi dalam Joule yang dilakukan pendulum untuk memukul spesimen uji. Besarnya impact ini dapat dilihat dari angka yang ditunjukkan oleh jarum petunjuk.

e. Penanganan Setelah Pengujian

1. Spesimen Yang telah di uji diambil dari bagian dalam alat impact dan diamati
 2. Melakukan perhitungan dai rata-rata yang diperoleh dari hasil pengujian.
-

f. Kreteria Penerimaan

Kreteria penerimaan pada uji impact logam lasan harus sama kekuatannya dalam menyerap energi dengan logam induknya, ini berhubungan dengan perlakuan suhu dan hasil lasan yang baik menghasilkan patah ulet Seperti pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Suhu Transisi Kreteria Patahan

Perkiraan suhu transisi patahan getas	Berdasarkan energi yang diserap	<ol style="list-style-type: none"> 1. Suhu dimana energi yang diserap sampai patah atau energi yang diserap setelah beban maksimum terlampaui mencapai $1/2$ dari energi maksimum yang mungkin terserap atau sama dengan harga rata rata. 2. Suhu dimana terjadi gradien energi yang tertinggi
	Berdasarkan penampakan patahan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Suhu dimana luas patahan butuir atau patahan getas mencapai $1/2$ dari luas penampang semula 2. Suhu dimana patahan serat atau patahan ulet mencapai $1/2$ dari luas penampang semula.
Perkiraan suhu transisi patahan ulet	Berdasarkan energi yang diserap	<ol style="list-style-type: none"> 1. Suhu dimana energi yang diserap sebelum beban maksimum terlampaui mencapai $1/2$ dari energi maksimum yang mungkin terserap atau sama dengan haraga rata-rata dari energi terserap yang maksimum dan minimum. 2. Suhu dimana terjadi gradin energi yang tertinggi Suhu dimana energi yang terserap mencapai harga tertentu misalnya pada uji Charpy
	Berdasarkan Ketangguhan	<ol style="list-style-type: none"> 1 Suhu dimana sudut tekuk pada beban maksimum turun dengan mendadak 3. Suhu dimana laju kontraksi patahan pada daerah dasar naik menurun atau mencapai harga prosentase tertentu, misalnya 2 %
	Berdasarkan kekuatan	Suhu dimana kekuatan luluh sama dengan kekuatan tinggi
	Berdasarkan penampakann patahan	Suhu dimana patahan serat atau patahan ulet mulai terjadi atau mencapai suatu prosentase tertentu (rendah) terhadap seluruh luas permukaan patahan

“Sesungguhnya yang ada hanya Allah, tiada ada pelaku lain selain Dia. Tidak ada kebajikan, keburukan, kerugian, keuntungan, manfaat, anugerah, kematian, dan kehidupan serta kekayaan dan kemiskinan melainkan semua itu ditangan Allah”.

(Syekh Abdul Qodir Jailani)

BAB IV



ANALISA HASIL PENGUJIAN

BAB IV

ANALISA HASIL PENGUJIAN

IV.1 Pengujian Visual

Setelah diadakan pengelasan dan diteruskan dengan suatu pengujian hasil las-lasan sebelumnya dilakukan pengamatan visual dari hasil las-lasan. Hal ini dilakukan dengan maksud untuk mengetahui bentuk dari manik las, cacat-cacat las yang mungkin secara visual tampak secara visual seperti adanya lipatan manik, *undercut*, kecembungan dan lainnya. Karena hal ini berkaitan erat dengan cara mengayunkan elektrode (*Weaving*) dan kecepatan pengelasan. Perlakuan *weaving* C Setelah dilakukan pengamatan dengan kaca pembesar bahwa pada hasil las-lasan dengan perlakuan ayunan C menghasilkan anyaman tidak rata dimana rigi rigi *weld* metal tidak halus, disamping bentuk manik las tidak rata kadang menghasilkan *weld* yang cembung dan lainnya adalah cekung. Selain itu manik las tidak lebar.

Perlakuan *weaving* O setelah diamati dengan mikroskop dengan seksama hasil las-lasannya lebih rata tidak ada cekungan-cekungan pada *weld* metal, rigi-rigi *weld* metal lebih baik dan halus dibandingkan *weaving* C, selain itu lebar manik las sedang atau tidak terlalu lebar sehingga tidak ada *overlap* pada hasil lasan. Tidak terlihat ada cacat-cacat pengelasan seperti *undercut*, porositas, *crack* dan yang lainnya.

Weaving Δ , hasil dari lasan ayunan ini menghasilkan rigi rigi yang halus seperti bentuk ayunan O, manik las mempunyai lebar yang besar dibandingkan

dengan ayunan bentuk C dan O. Tidak ada spatter pada daerah lasan, *no porosity* dan penetrasinya baik sekali sehingga kecembungan dari *weld metal* terpenuhi. Dari hasil pengujian visual tersebut ketiga spesimen dengan ayunan yang berbeda telah memenuhi kriteria pengujian visual AWS D1.1 1998.

IV.2 Pengujian Makroetsa

Pengujian makroetsa dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui cacat-cacat yang mungkin terjadi dari hasil lasan dan untuk mengetahui lebar dari HAZ pada tiap-tiap hasil pengelasan. Disamping itu pengujian makroetsa nantinya diteruskan pada pengujian kekerasan dari hasil pengujian makroetsa pada perlakuan *weaving* C mendapatkan lebar HAZ sebesar 4 mm dari batas las, lebar manik las 15,4 mm dan tinggi *weld metal* 15,1 mm. Untuk perlakuan *weaving* O tidak ada cacat yang terjadi, lebar HAZ adalah 3 mm dari batas las, lebar manik las 13,5 mm dan tinggi *weld* sebesar 15,2 mm. Perlakuan ayunan Δ tidak ada cacat yang masuk dalam penolakan hasil pengelasan. Lebar HAZ didapat sebesar 6 mm, lebar manik las 16,5 mm dan tinggi *weld* adalah 16,5 mm.

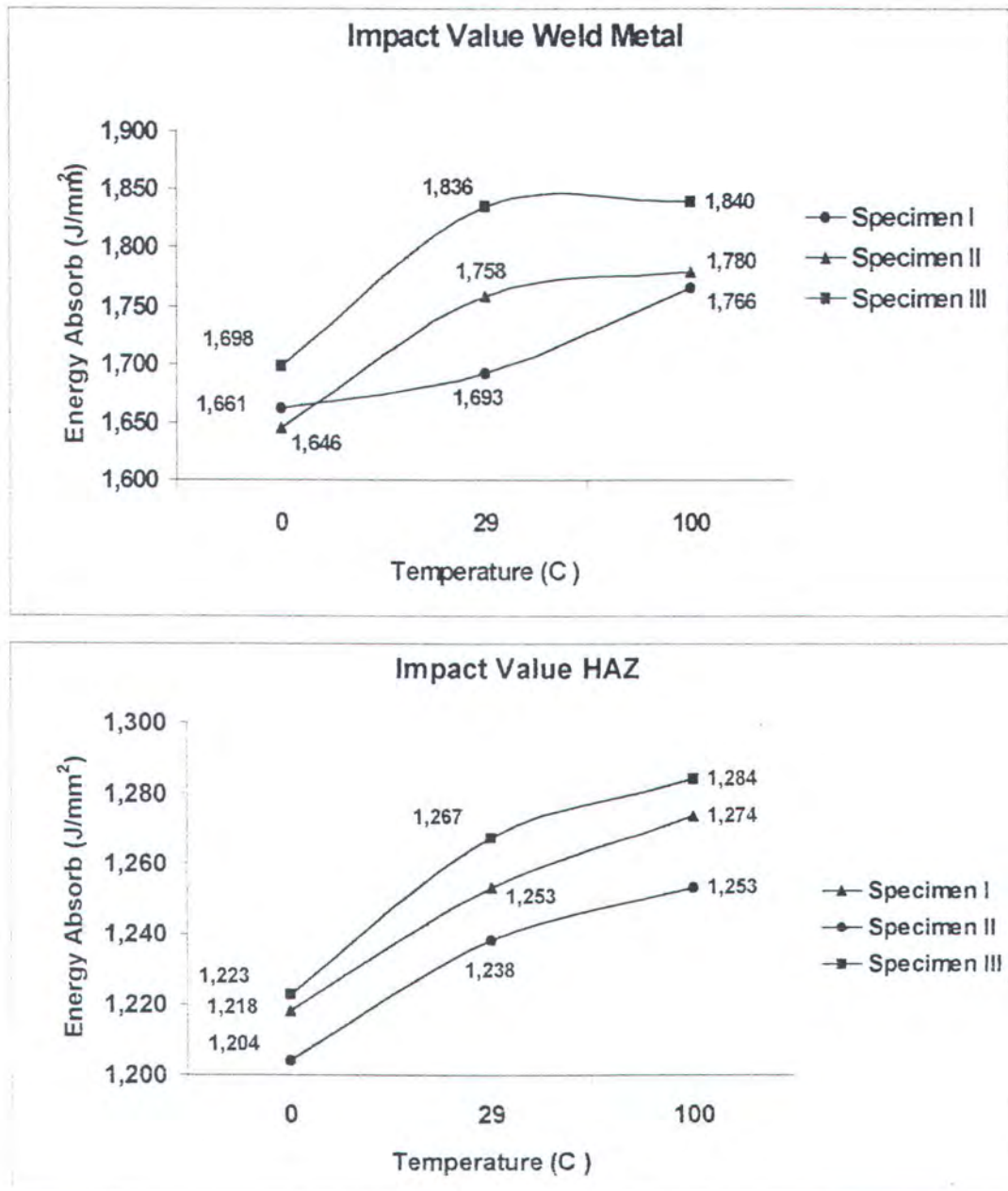
Dari hasil uji makroetsa diketahui bahwa cacat yang terjadi ditemukan pada perlakuan *weaving* C dan lebar HAZ yang paling besar adalah ayunan Δ . Hal ini karena pada fase ayunan berhenti pada dua sudut datar ayunan daerah Δ akan mempengaruhi daerah struktur mikro *base metal* oleh panas sehingga timbul HAZ yang besar karena pengaruh panas dari elektrode. Tetapi pada *weaving* Δ mempunyai penetrasi yang bagus sehingga didapat kecembungan yang memadai pada hasil las-lasan. Ini nantinya juga akan mempengaruhi pada hasil pengujian

berikutnya yaitu mengujian ketangguhan dan kekerasan hasil las-lasan. Untuk melihat lebih jelas perbedaan bentuk *weld metal* dan *HAZ* dapat dilihat pada lampiran 24 , 25 dan 26.

IV.3 Pengujian Impact

Pengujian Impact dilakukan dengan tujuan mengetahui kekuatan tumbuk dari material. Kekuatan tumbuk dari suatu material adalah kemampuan bahan dalam menerima beban tumbuk yang nantinya diukur dengan besarnya energi yang diperlukan untuk mematahkan batang uji dengan pendulum pada alat penguji. Sifat ini perlu diperhatikan karena logam kuat belum tentu mempunyai kekuatan tumbuk yang tinggi. Hal ini yang jelas bahwa sifat ini sangat dipengaruhi oleh temperatur yang sangat cepat pada suhu transisi. Uji impact yang dilakukan dengan suhu yang berbeda yaitu suhu 0°C , suhu ruang 29°C dan suhu panas 100°C . Tujuan dari perlakuan suhu ini terutama pada suhu dingin 0°C untuk mendapatkan kondisi brittle, sedangkan suhu panas untuk mendapatkan kondisi ductile sehingga lebih mudah dalam menganalisa perbandingan bentuk ayunan (*Weaving*) karena akan lebih memperjelas penampang patahan dan energi yang terserap oleh material uji. ini akan memperjelas. Dalam pengujian impact letak notch berada pada dua daerah pengelasan yaitu weld metal dan daerah HAZ (*Heat Affected Zone*). Dan untuk memudahkan dan menganalisa data dari hasil pengujian yang telah diperoleh (Lampiran 2 – 7) maka diplotkan ke Gambar 4.1 grafik *Impact Value Diagram*

yaitu hubungan antara Energi yang diserap oleh material uji dengan kenaikan suhu, terlihat pada grafik dibawah ini:



Gambar 4.1 Diagram Impact Weld Metal dan daerah HAZ

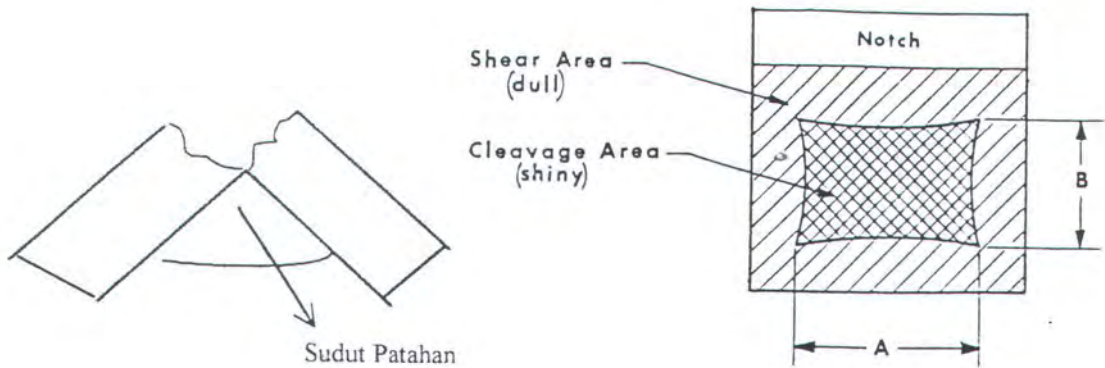
Dari grafik *Impact value* terhadap material yang dilakukan pengelasan dengan berbagai macam ayunan (*Waving*) terlihat sifat ketangguhan hasil

lasannya. Pada suhu 0°C spesimen II pada notch di *Weld Metal* mempunyai kemampuan menyerap energi yang lebih kecil dibandingkan dengan spesimen I dan III yaitu $1,646\text{ Joule/mm}^2$ ini berarti bahwa hasil lasan dengan perlakuan weaving O mempunyai sifat yang lebih *brittle* pada suhu 0°C ini dikarenakan pada ayunan O pada fase berhenti seolah-olah ada *post heating* dan *pre heating* pada satu sisi saja sehingga pada sisi yang lain tidak terjadi perlambatan pendinginan dalam artian proses pencairan menuju proses pengkristalan berjalan cepat, sehingga struktur lasan menjadi martensit menyebabkan *brittle*. Tetapi pada suhu diatas 0°C yaitu pada suhu ruang 29° dan suhu 100°C ketangguhan dari hasil lasan meningkat mencapai $1,780\text{ Joule/mm}^2$, sehingga diatas ketangguhan spesimen I. Hal ini terjadi dengan naiknya suhu mengakibatkan material menjadi semakin *ductile*, ini juga pengaruh dari tidak adanya cacat yang terjadi di *weld metal* sehingga ketangguhan dari *weld metal* meningkat pada suhu ruang dan suhu panas. Pada pengujian notch pada daerah HAZ pada suhu 0°C energi yang terserap pada spesimen II sangat kecil yaitu $1,204\text{ Joule/mm}^2$, dibandingkan dengan lainnya, spesimen II lebih rendah nilai impactnya, karena pada daerah HAZ ketangguhannya sangat dipengaruhi sekali terhadap proses cepat dan lambatnya pendinginan pada struktur daerah pengelasan. Dimana ayunan O mengalami *post-heating* dan *pre -heating* yang cepat sehingga stuktur HAZ menjadi brittle dan berakibat sedikit menyerap energi. Dari perbandingan grafik di atas nilai Impact value antara *weld metal* dan HAZ lebih rendah HAZ karena daerah HAZ struktur kristalnya lebih besar dibandingkan dengan struktur mikro *weld metal*. Hal lain juga berpengaruh dari tegangan sisa negatif pada sambungan

las yang terkonsentrasi pada daerah HAZ. Pada spesimen I hasil dari pengujian impact terlihat di grafik bahwa menghasilkan harga impact yang rendah pada *weld metal* dibandingkan dengan yang lain disuhu ruang 29 ° dan suhu 100° C yaitu 1,693 dan 1,766 Joule/ mm² , sedangkan didaerah HAZ pada suhu 0 ° C menghasilkan 1,218 Joule/ mm² lebih baik dari spesimen II. Khusus untuk spesimen III dengan ayunan Δ harga dari pengujian impact menghasilkan harga impact yang relatif tinggi didaerah *weld metal* maupun *HAZ* ini dikarenakan pada waktu pengelasan, *weaving* Δ yang dilakukan tepat dengan kecepatan pengelasan dan ada fase berhenti pada kedua sisi ayunan disudut segitiga dan ini memperlambat laju pendinginan pada struktur mikro dari daerah las dan HAZ sehingga struktur cenderung *ferit dan perlit* sehingga menjadi *ductile* disamping tidak mempunyai cacat pengelasan yang fatal meski daerah HAZ yang terbentuk lebar, sehingga pada suhu dingin sampai panas spesimen III dapat menyerap energi yang besar dibandingkan dengan spesimen lainnya.

Untuk lebih memperkuat dalam analisa perbandingan uji impact diatas, ditunjukkan prosentase penampang tahanan geser dan sudut yang terbentuk dalam hasil uji impact yang diambil satu spesimen dari hasil uji impact . Masing-masing tahap pengujian dengan notch di *weld metal* dan di HAZ. Penentuan prosentase patahan geser dilakukan interpolasi yang berdasarkan tabel 1 & 2 ASTM E23 (Lamiran 27) dari penampang patahan spesimen seperti Gambar 4.2

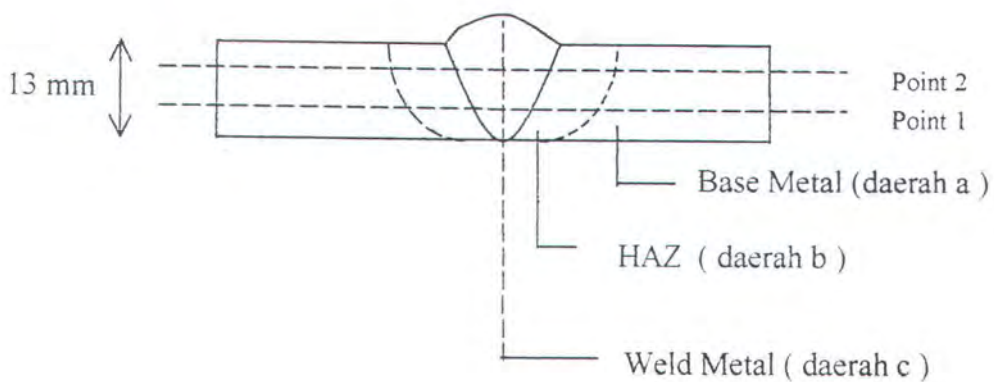
Semakin Ductile material semakin besar pula prosentase patahan gesernya, demikian sebaliknya semakin kecil prosentase patah gesernya semakin *brittle* material tersebut seperti pada data pada Lampiran 8 – 13.



Gambar 4.2 Penampang Patahan Memanjang dan Melintang (ASTM, 1994)

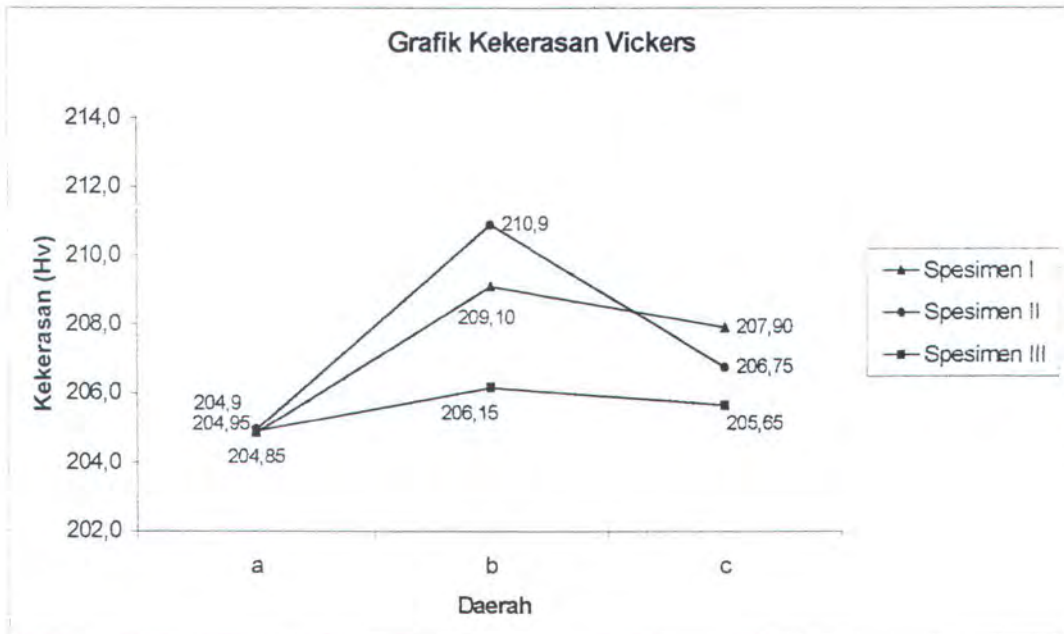
4.4 Pengujian Kekerasan Vickers

Setelah melakukan pengujian kekerasan Vickers untuk daerah *base metal*, *weld metal* dan HAZ lalu diadakan analisa hasil pengujian. Untuk memudahkan dalam analisa dibuat grafik nilai kekerasan pada tiap-tiap daerah pengujian dan titik pengujian seperti pada Gambar 4.2 :



Gambar 4.3 Daerah Pengujian Kekerasan Vickers

Setelah mendapatkan data (Lampiran 22) maka dapat diplotkan pada Gambar 4.3 berupa gambar grafik nilai kekerasan Vickers.



Gambar 4.4 Grafik Kekerasan Vickers

Dari grafik tersebut dapat diambil analisa antara lain bahwa dari grafik tersebut terlihat bahwa nilai kekeasan yang tertinggi pasda daerah HAZ pada spesimen II yaitu bentuk ayunan O dibandingkan dengan bentuk ayunan lainnya. Hal ini disebabkan kerana dalam pergerakan ayunan O pada satu saat ayunan berhenti sebentar pada satu sisi ayunan, ini seolah-olah terjadi adanya *Post Heating* dan *Pre Heating* yang cepat dalam proses pengelasan. Hal ini sehubungan dengan proses pendinginan (*Cooling Rate*) terhadap struktur las-lasan dari proses pencairan menjadi kristalisasi. Pada daerah HAZ dengan ayunan O proses pendinginan cepat karena adanya fase berhenti ayunan sebentar lalu

diayun kembali pada satu sisi.. Besar dari kekerasan maksimum pada ayunan O adalah 210,9 Hv . Untuk spesimen I dengan ayunan C mempunyai nilai kekerasan maksimum dibawah ayunan O yaitu 209,10 Hv , karena pada ayunan bentuk C pergerakan elektrode fase berhenti hanya pada satu sisi sehingga pendinginan pada daerah lasan cepat sama dengan dengan ayunan O dan begitu pula dengan spesimen III dengan ayunan Δ mempunyai nilai kekerasan maksimal 206,15 Hv. Nilai kekerasan rendah karena pada ayunan Δ ada dua fase berhenti pada sudut segitiga yang datar sehingga proses *post-heating* dan *pre-heating* pada proses ayunan lama dibandingkan dengan kedua ayunan lainnya, sehingga nilai kekrasannya menjadi kecil. Dengan demikian pada pengujian kekerasan tersebut memperlihatkan perbedaan besar nilai kekerasan pada tiap-tiap spesimen dalam artian dengan perbedaan ayunan menghasilkan nilai kekerasan yang yang berbeda pula. Dari grafik tersebut terlihat yang mempunyai nilai kekerasan terbesar adalah ayunan O.

Mereka menjawab : “Maha Suci Engkau, tidak ada yang kami ketahui selain dari apa yang telah Engkau ajarkan kepada kami; sesungguhnya Engkaulah Yang Maha Mengetahui lagi Maha Bijaksana”
(QS. Al-Baqarah :32)

BAB V



KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari semua data yang telah didapatkan melalui pengujian dan pengamatan , maka :

1. Pada pengujian amatan (*Visual Inpection*) ketiga jenis ayunan yang berbeda tidak menghasilkan cacat yang tidak diterima berdasarkan AWS D1.1 ,1998 pada daerah lasan, seperti spatter, overlap, undercut, dan porosity.
 2. Pada pengujian Makroetsa pada ketiga ayunan didapatkan ayunan C tinggi *weld* 15,1 mm lebar HAZ 4 mm, ayunan O tinggi *weld* 15,2 mm lebar HAZ 3 mm dan ayunan Δ tinggi *weld* 16,5 mm, HAZ 6 mm sehingga didapat ayunan Δ mempunyai lebar *weld* metal dan HAZ yang terbesar dibandingkan dengan lainnya dan *reinforcement* dari ketiga ayunan tersebut dapat diterima sesuai kriteria penerimaan . Dari uji ini juga ketiga ayunan tidak ada crack, tidak porositas, dan tidak ada slag inclusion. Jadi ketiga ayunan sudah memenuhi kriteria penerimaan sesuai prosedur AWS D1.1,1998.
 3. Untuk pengujian ketangguhan (Uji Impact) ayunan Δ lebih baik dibandingkan dengan ayunan C dan O karena dapat menyerap energi
-

yang lebih besar pada suhu 0° yaitu $1,698 \text{ J/mm}^2$, suhu 29° sebesar $1,839 \text{ J/mm}^2$, dan suhu 100° sebesar $1,84 \text{ J/mm}^2$.

4. Untuk Pengujian Kekerasan Ayunan O didaerah HAZ memiliki kekerasan yang tinggi dibandingkan kekerasan dengan ayunan C dan Δ yaitu sebesar 210,9 Hv.

V.2 Saran

Untuk mendapatkan hasil pengelasan yang baik dan sesuai dengan kebutuhan kekuatannya harus diperhatikan *Welding Procedure Spesification* (WPS) yang digunakan, termasuk didalamnya memperhatikan ayunan (*weaimg*) karena berhubungan dengan pegerakan elektrode (*Travel Speed*) dan untuk mendapatkan ketangguhan las yang lebih baik disarankan menggunakan *Weaving* Δ dan untuk mendapatkan kekerasan yang baik menggunakan ayunan O.

((Mereka adalah) orang-orang yang jika Kami beri kekuasaan dimuka bumi, niscaya mereka mendirikan sembahyang, menunaikan zakat, menyuruh berbuat baik dan mencegah perbuatan mungkar, dan kepada Allah-lah kembali segala urusan.

(QS. AL-HAJJ:41)



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal,R.L & Manghnani,T.1985.**Welding Engineering**. Delhi: Khana Publishers.
- ASTM. 1994. **Metals-Mechanical Testings Elevated and Low temperature Test**. Philadelphia.: American Society for Testing and Materials.
- AWS D1.1-98. 1998. **Stuctural Welding Code-Steel**. 16 th Edition . Miami : American Welding Society.
- Cary, H.B. 1984. **Modern Welding Technology**. New Jersey : Prentice Hall , Inc.
- Davies, A.C. 1993. **The Science And Practice Of Welding**. Cambridge: Cambridge University Press.
- De garmo, E.P. dkk.1988. **Material and Proces in Manucfacturing**. New York : The Macmillan Publishing Company.
- Dhayawardhana.A, B.R.M. 1996."Analisa Penggunaan Metode Sofiet Technique Untuk Mengestimasi Deformasi Pada Pengelasan Sambungan Tumpul Pelat SS-41 Produksi KS “. Tugas Akhir. Surabaya: FTK-ITS
- Doyle, L.E. 1961. **Manufacturing Processes and Materials for Engineers**. New jersey : Prentice-Hall, Inc.
- Gibson, S dan Smith, A.R. 1993. **Basic Welding**. London : The Macmillan Press Ltd.

Gourd, L.M. 1995. **Principles of Welding Technology**. 1995. London : Edward Arnold a division of Hodder Headline PLC.

Honeycombe, R.W.K & Bhadeshia, H.K.D.H. 1995. **Steel: Microstructure and Properties**. London: Edward Arnold a division of Hodder Headline PLC.

Jensen dan Alfred. 1983. **Applied Strength of Material**. Fourth Edition. Mc. Graw-Hill, Inc.

Kenyon, W. 1985. **Dasar-dasar Pengelasan**. Jakarta Pusat: Penerbit Erlangga

Little, R.L. 1973. **Welding and Welding Technology**. Mc. Graw-Hill, Inc

Mohler, R. 1983. **Practical Welding Technology**. New York : Industrial Press, Inc.

Okumura, T dan Wiryosumarto, H. 1994. **Teknologi Pengelasan Logam**. Jakarta: PT Pradnya Paramita.

Soewefy. 1992. **Diktat Kuliah Teknologi Las I**. Surabaya : FTK-ITS

Soewefy, Slamet Widodo dan Arief Suroso. 1990. "Studi Tentang Kekuatan Hasil Pengelasan Dengan Berbagai – macam Elektrode yang Umum di Pakai di Galangan – Galangan Kapal". Laporan Penelitian. Surabaya: FTK-ITS.

Suherman, W. 1987. **Diktat Pengetahuan Bahan**. Surabaya: FTI-ITS.

Triyanto, J. 1999. "Pengaruh Media Pendingin Pasca Perlakuan Panas Pada hasil Pengelasan Baja AISI 1015". Tugas Akhir. Surabaya: FTK-ITS.



LAMPIRAN

Lampiran 1

Welding Procedure Spesification (WPS)

Company name : Teknik Kelautan
Welding Process : SMAW
By : Rendra Eka A

POSITION
Position of groove IG
Vertical Progression NONE

JOINT DESIGN USED
Type Singe Vee Position
Backing False
Root Opening 3.2 mm
Grove Angle 60°

ELECTRICAL CHARACTER.
Curent Type AC
Current 100-120 Amp.
Root Face 3 mm

BASE METAL
Type Material SM 50
Thickness 13 mm

TECHNIQUE
Stringer or weave Bead See Sketch
Multi-Pass or Single pass Multi-pass
Number of Elektrode NONE
Peening None
Interpass Cleaning Yes

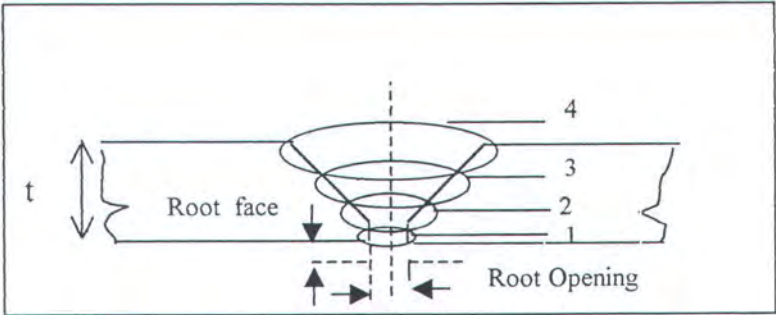
FILLER Metal
AWS Specification AWS A5.1
AWS Classification OK E 7018

SHIELDING
Gas composition NONE
Flow rate

POSTWELD TREATMENT
Temp. NONE
Time
Other

PREHEAT
Preheat temp.Min NONE
Interpass temp. min NONE

JOINT DETAIL



WELDING PROCEDURE

Welding Procedure Weaving C

Weld Layer	Procces	Filler Metal		Current		Volt	Travel Speed Range
		Class	Dia.	Type Polar.	Amp. Range		
1.	SMAW	E 7018	3.2	AC	95-100	25	12-17
2.	SMAW	E 7018	3.2	AC	100-110	25	12-15
3.	SMAW	E 7018	3.2	AC	100-115	25	12-15
4.	SMAW	E 7018	3.2	AC	100-115	25	8-12

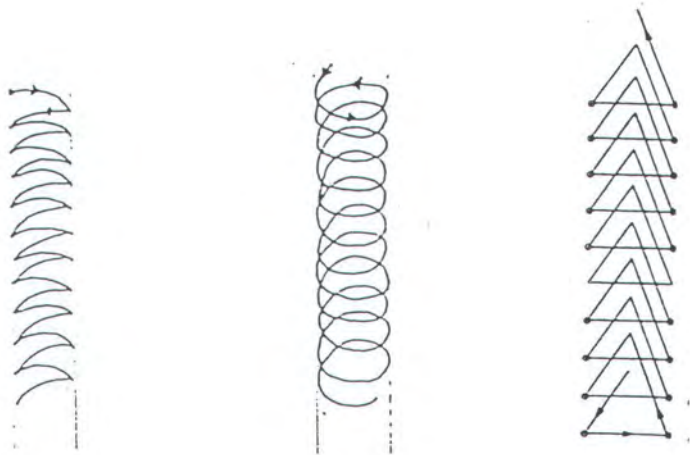
Welding Procedure Weaving O

Weld Layer	Procces	Filler Metal		Current		Volt	Travel Speed Range
		Class	Dia.	Type Polar.	Amp. Range		
1.	SMAW	E 7018	3.2	AC	95-100	25	12-17
2.	SMAW	E 7018	3.2	AC	100-110	25	12-15
3.	SMAW	E 7018	3.2	AC	100-115	25	12-15
4.	SMAW	E 7018	3.2	AC	100-115	25	8-12

Welding Procedure Weaving Δ

Weld Layer	Procces	Filler Metal		Current		Volt	Travel Speed Range
		Class	Dia.	Type Polar.	Amp. Range		
1.	SMAW	E 7018	3.2	AC	95-100	25	12-17
2.	SMAW	E 7018	3.2	AC	100-115	25	12-15
3.	SMAW	E 7018	3.2	AC	100-125	25	12-15
4.	SMAW	E 7018	3.2	AC	100-125	25	8-12

WEAVING DETAIL



a.

Weaving C

b.

Weaving O

c.

Weaving Δ

Lampiran 2

Tabel 4.1 Hasil Uji Impact Suhu 0 Pada Weld Metal

Specimen	Luas Pada Notch (mm 2)	Energi Impact (Joule)	Kuat Impact (Joule/mm 2)	Kuat Impact Rata-rata
I	80	138,0	1,725	1,661
	80	128,7	1,609	
	80	132,0	1,650	
II	80	128,5	1,606	1,646
	80	136,0	1,700	
	80	130,5	1,631	
III	80	139,5	1,744	1,698
	80	129,8	1,623	
	80	138,3	1,729	

Lampiran 3

Tabel 4.2 Hasil Uji Impact Suhu Ruang 29 Pada Weld Metal

Specimen	Luas Pada Notch(mm2)	Energi Impact(Joule)	Kuat Impact(Joule/mm2)	Kuat Impact Rata-rata
I	80	132,500	1,656	1,693
	80	138,500	1,731	
	80	135,200	1,690	
II	80	139,500	1,744	1,758
	80	141,900	1,774	
	80	140,500	1,756	
III	80	147,000	1,838	1,836
	80	147,100	1,839	
	80	146,500	1,831	

Lampiran 4

Tabel 4.3 Hasil Uji Impact Suhu Panas 100 Pada Weld Metal

Specimen	Luas Pada Notch (mm 2)	Energi Impact (Joule)	Kuat Impact (Joule/mm 2)	Kuat Impact Rata-rata
I	80	142,500	1,781	1,766
	80	140,000	1,750	
	80	141,400	1,768	
II	80	141,500	1,769	1,780
	80	143,000	1,788	
	80	142,700	1,784	
III	80	147,000	1,838	1,840
	80	147,800	1,848	
	80	146,800	1,835	

Lampiran 5

Tabel 4.4 Hasil Uji Impact Suhu Dingin 0 Pada HAZ

Specimen	Luas Pada Notch (mm 2)	Energi Impact (Joule)	Kuat Impact (Joule/mm 2)	Kuat Impact Rata-rata
I	80	96,70	1,209	1,218
	80	98,70	1,234	
	80	97,00	1,213	
II	80	97,00	1,213	1,204
	80	95,40	1,193	
	80	96,50	1,206	
III	80	98,00	1,225	1,223
	80	98,50	1,231	
	80	97,00	1,213	

Lampiran 6

Tabel 4.5 Hasil Uji Impact Suhu Ruang 29 Pada HAZ

Specimen	Luas Pada Notch (mm ²)	Energi Impact (Joule)	Kuat Impact (Joule/mm ²)	Kuat Impact Rata-rata
I	80	99,00	1,238	1,291
	80	110,80	1,385	
	80	100,00	1,250	
II	80	98,80	1,235	1,238
	80	100,10	1,251	
	80	98,30	1,229	
III	80	92,80	1,160	1,267
	80	109,80	1,373	
	80	101,50	1,269	

Lampiran 7

Tabel 4.6 Hasil Uji Impact Suhu Panas 100 Pada HAZ

Specimen	Luas Pada Notch (mm 2)	Energi Impact (Joule)	Kuat Impact (Joule/mm 2)	Kuat Impact Rata-rata
I	80	107	1,338	1,274
	80	100	1,250	
	80	98,7	1,234	
II	80	100,5	1,256	1,253
	80	105	1,313	
	80	95,2	1,190	
III	80	103,2	1,290	1,284
	80	105	1,313	
	80	100	1,250	

Lampiran 8

Tabel 4.7 Prosentasi Patah Geser Pengujian Impact
Suhu Dingin (0) Pada Weld Metal

Specimen	Panjang A (mm)	Lebar B (mm)	Prosentase Patah Getas dlm %	Sudut Patahan	Keterangan
I	5,80	3,10	76,50	128,40	Ductile
	5,65	3,02	76,48	128,50	Ductile
	5,69	3,20	76,58	129,00	Ductile
II	6,00	3,10	76,56	110,10	Ductile
	6,30	3,20	74,50	104,50	Ductile
	5,90	3,40	74,43	115,40	Ductile
III	6,20	3,20	70,90	124,15	Ductile
	6,50	3,50	72,00	122,20	Ductile
	6,40	3,70	70,67	122,50	Ductile

Lampiran 9

Tabel 4.8 Prosentasi Patah Geser Pengujian Impact
Suhu Ruang (29) Pada Weld Metal

Specimen	Panjang A (mm)	Lebar B (mm)	Prosentase Patah Geser dlm %	Sudut Patahan	Keterangan
I	5,00	2,30	85,60	124,50	Ductile
	5,90	2,70	77,64	133,50	Ductile
	5,50	2,50	83,00	110,30	Ductile
II	5,50	2,40	83,60	114,20	Ductile
	5,20	2,50	83,50	124,30	Ductile
	5,70	2,50	82,20	125,40	Ductile
III	5,00	3,00	81,00	120,50	Ductile
	4,70	2,30	85,60	123,15	Ductile
	5,20	3,20	78,16	122,20	Ductile

Lampiran 10

Tabel 4.9 Prosentasi Patah Geser Pengujian Impact
Suhu Panas (100) Pada Weld Metal

Specimen	Panjang A (mm)	Lebar B (mm)	Prosentase Patah Geser dlm %	Sudut Patahan	Keterangan
I	5,60	2,30	83,60	114,20	Ductile
	5,80	2,20	85,70	129,25	Ductile
	5,50	2,30	84,20	116,50	Ductile
II	6,10	2,50	80,80	122,45	Ductile
	5,70	2,10	83,10	121,94	Ductile
	5,80	2,40	84,10	120,00	Ductile
III	5,60	2,50	82,40	127,00	Ductile
	5,10	2,10	86,20	128,00	Ductile
	5,20	2,30	86,22	130,00	Ductile



Lampiran 11

Tabel 4.10 Prosentasi Patah Geser Pengujian Impact
Suhu Dingin (0) Pada HAZ

Specimen	Panjang A (mm)	Lebar B (mm)	Prosentase Patah Geser dlm %	Sudut Patahan	Keterangan
I	7,10	6,80	39,23	64,00	Brittle
	6,80	5,10	57,10	70,18	Ductile
	7,20	6,70	40,30	65,60	Brittle
II	6,90	5,30	55,94	68,00	Ductile
	7,10	6,20	44,06	63,20	Brittle
	6,50	5,10	58,20	65,00	Brittle
III	7,00	6,00	47,00	71,00	Brittle
	6,10	5,80	55,43	64,15	Ductile
	6,70	5,50	53,80	68,30	Ductile

Lampiran 12

Tabel 4.11 Prosentasi Patah Geser Pengujian Impact
Suhu Ruang (29) Pada HAZ

Specimen	Panjang A (mm)	Lebar B (mm)	Prosentase Patah Geser dlm %	Sudut Patahan	Keterangan
I	6,34	5,60	53,03	68,00	Ductile
	5,90	5,60	61,50	70,00	Ductile
	6,15	5,40	59,38	67,45	Ductile
II	6,90	6,00	47,80	64,15	Brittle
	6,80	5,80	52,08	67,45	Ductile
	6,56	5,90	51,80	69,60	Ductile
III	6,10	5,00	61,40	68,50	Ductile
	7,10	5,90	50,38	67,10	Ductile
	6,800	5,500	53,200	68,400	Ductile

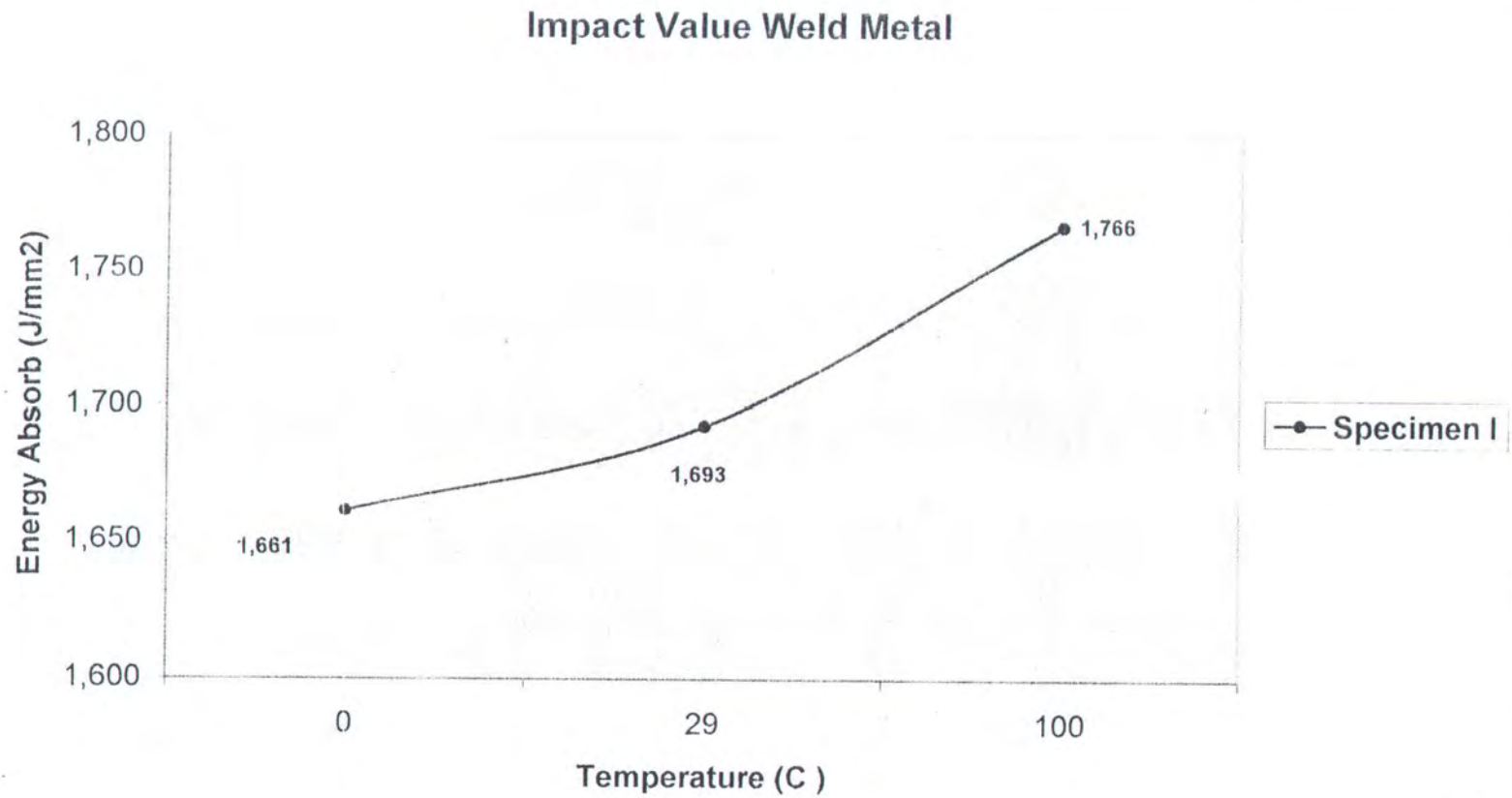
Lampiran 13

Tabel 4.12 Prosentasi Patah Geser Pengujian Impact
Suhu Panas (100) Pada HAZ

Specimen	Panjang A (mm)	Lebar B (mm)	Prosentase Patah Geser dlm %	Sudut Patahan	Keterangan
I	7,50	6,00	44,00	64,40	Brittle
	6,00	5,50	59,00	71,35	Ductile
	6,50	5,70	49,00	70,80	Brittle
II	6,10	4,50	65,40	68,25	Ductile
	6,70	5,50	53,80	72,30	Ductile
	6,00	5,10	61,40	70,65	Ductile
III	6,20	5,80	55,86	75,00	Ductile
	5,90	6,50	51,80	69,00	Ductile
	5,60	6,20	56,85	68,00	Ductile

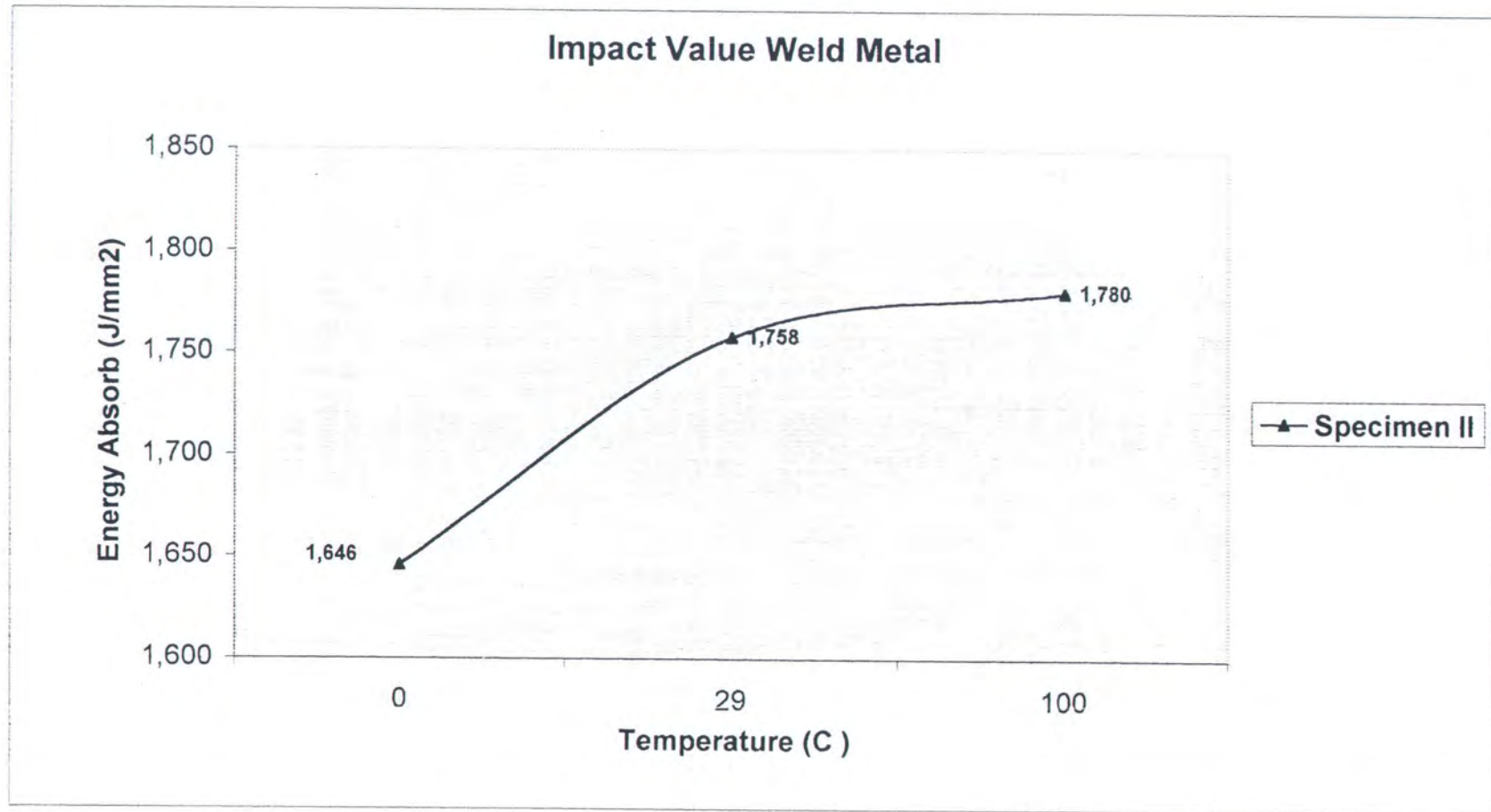
Lampiran 14

Gambar 4.1.a1 Grafik Hasil Pengujian Impact



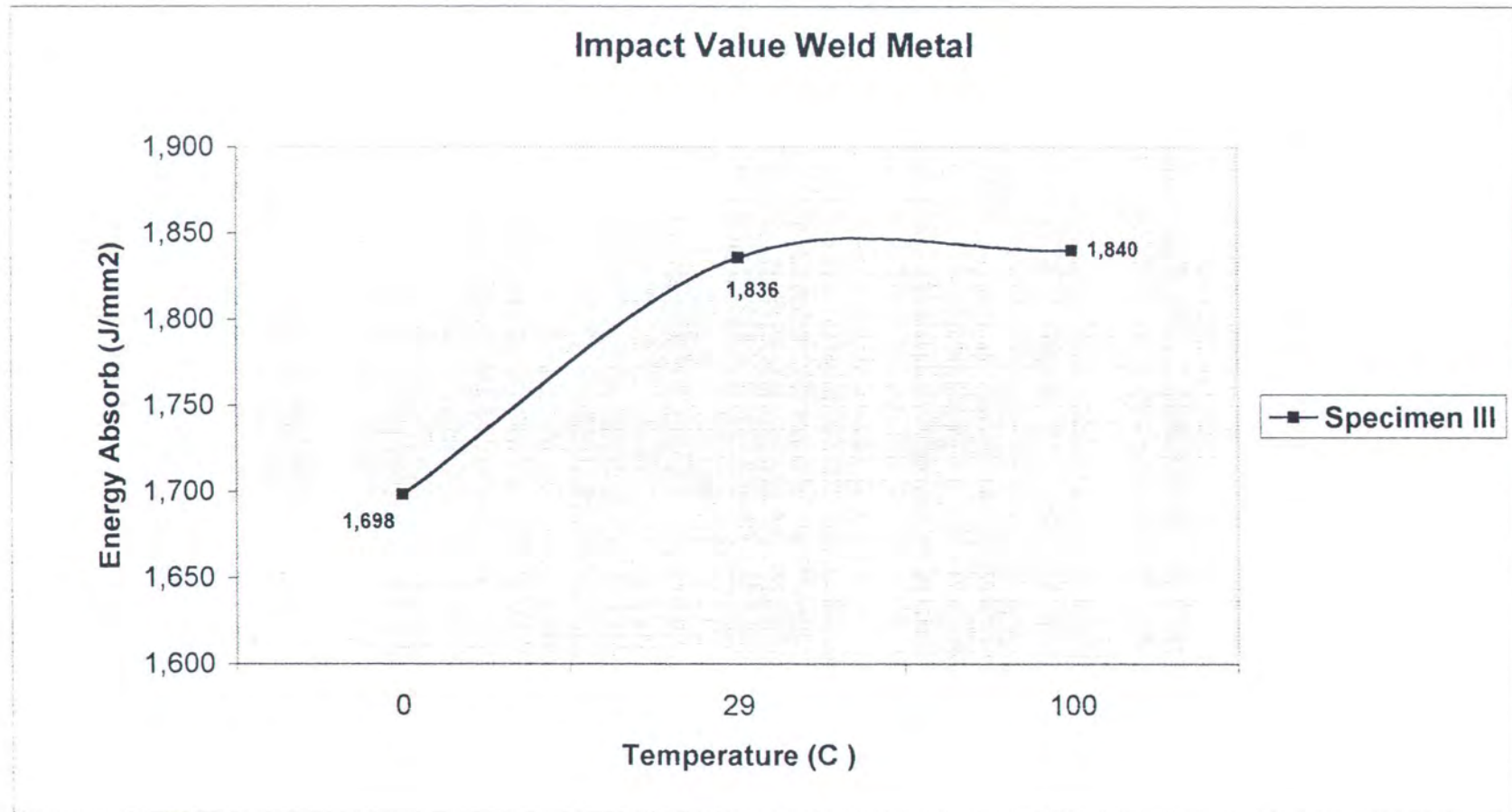
Lampiran 15

Gambar 4.1.a2 Grafik Hasil Pengujian Impact



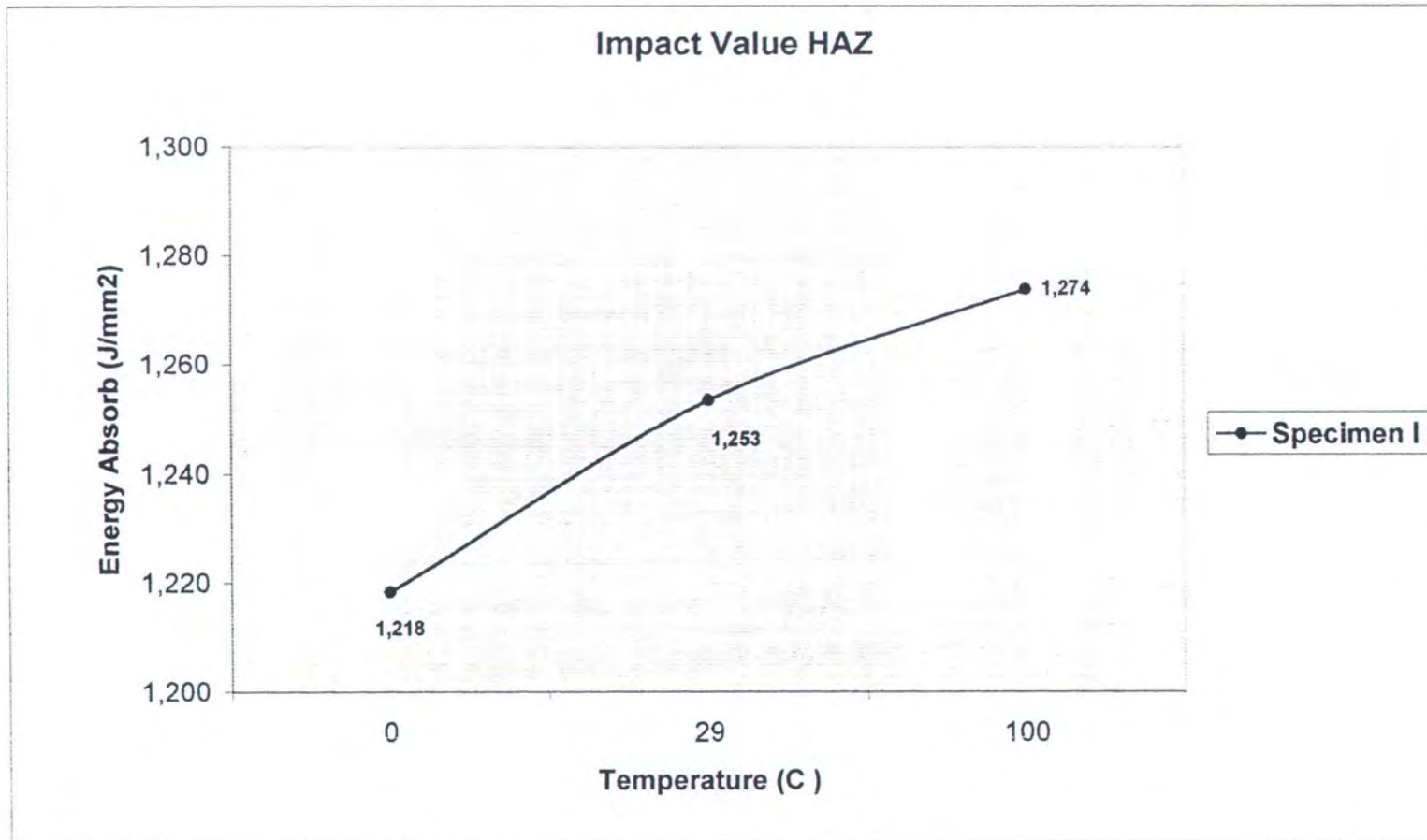
Lampiran 16

Gambar 4.1.a3 Grafik Hasil Pengujian Impact



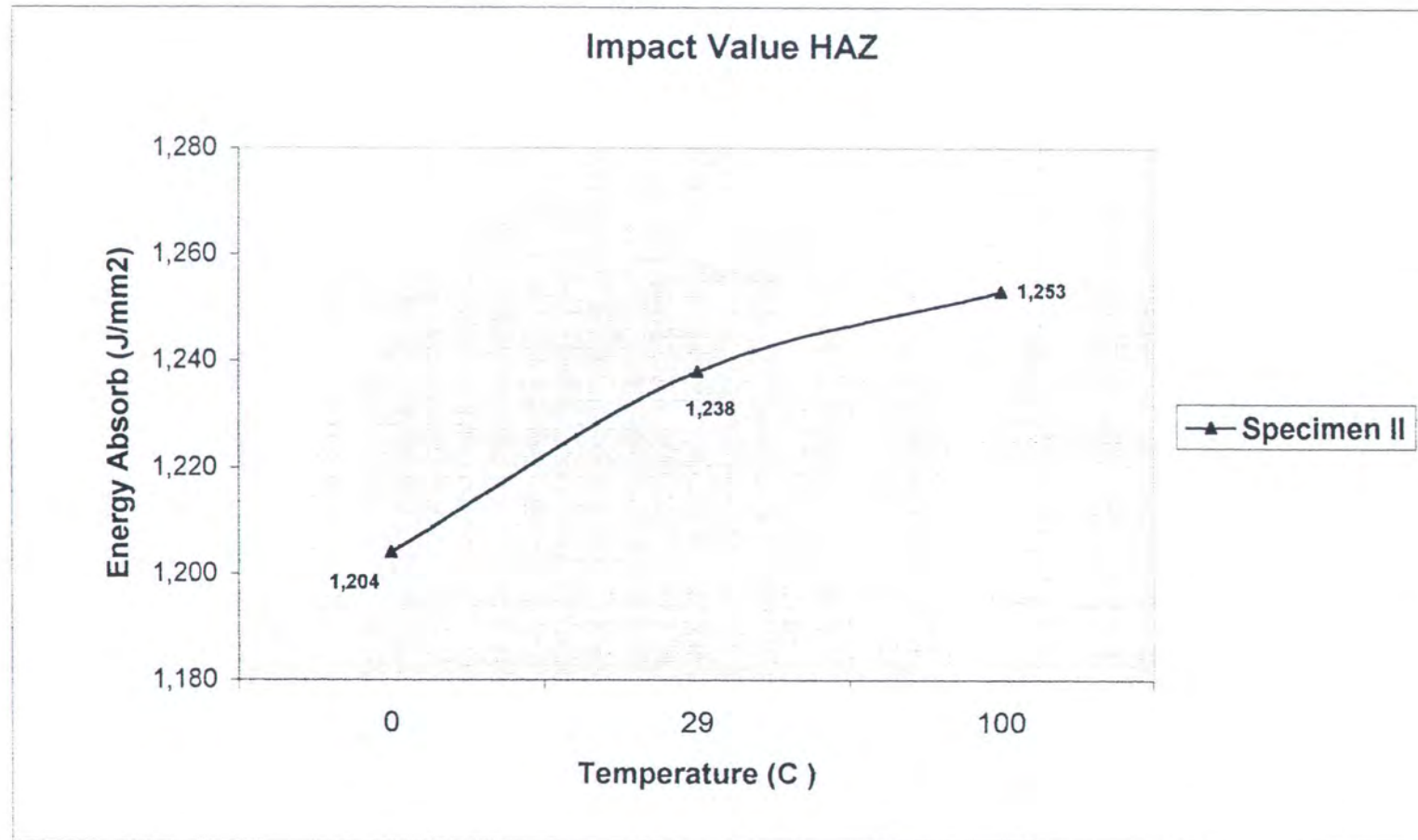
Lampiran 17

Gambar 4.1.b1 Grafik Hasil Pengujian Impact



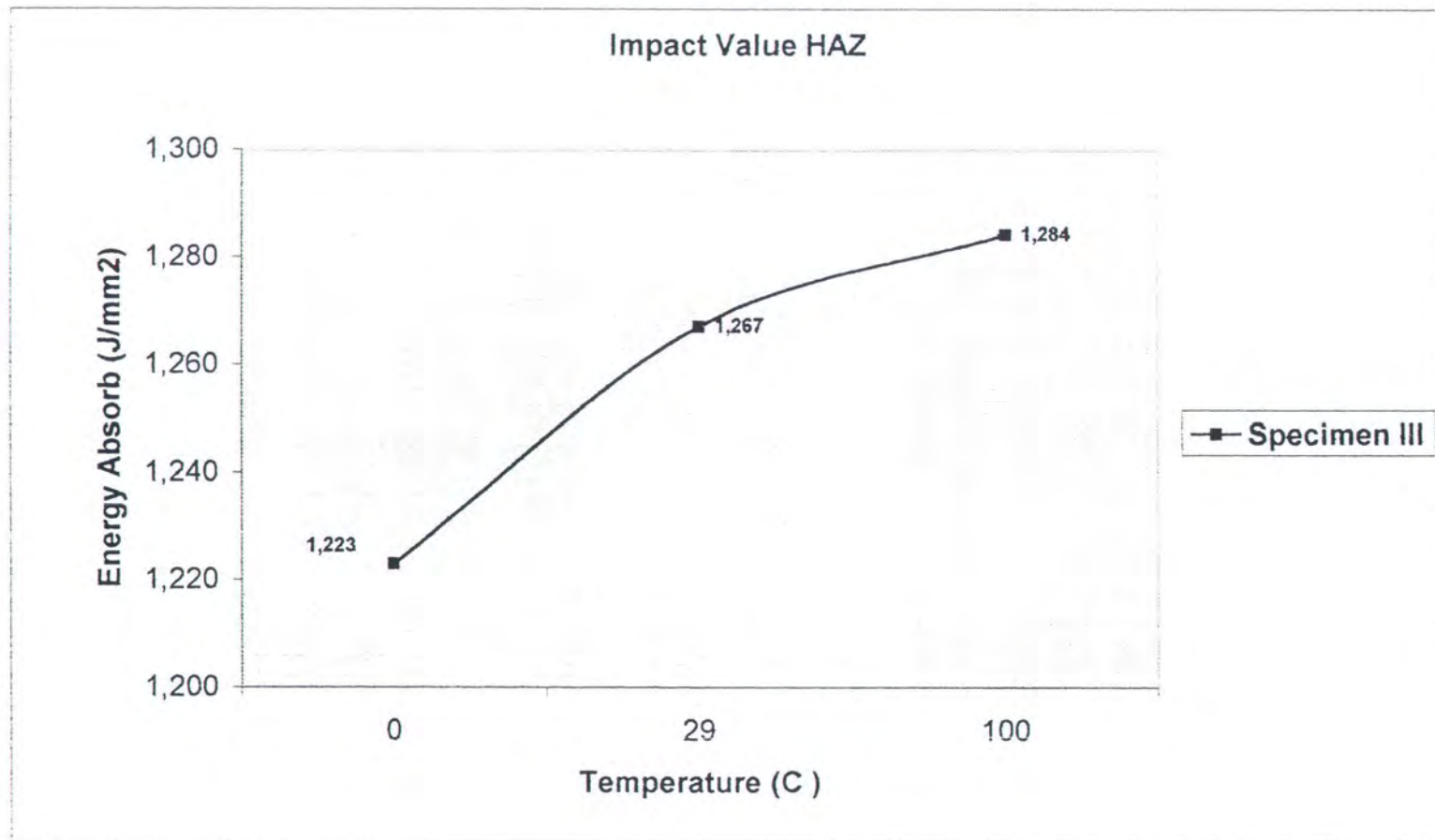
Lampiran 18

Gambar 4.1.b2 Grafik Hasil Pengujian Impact



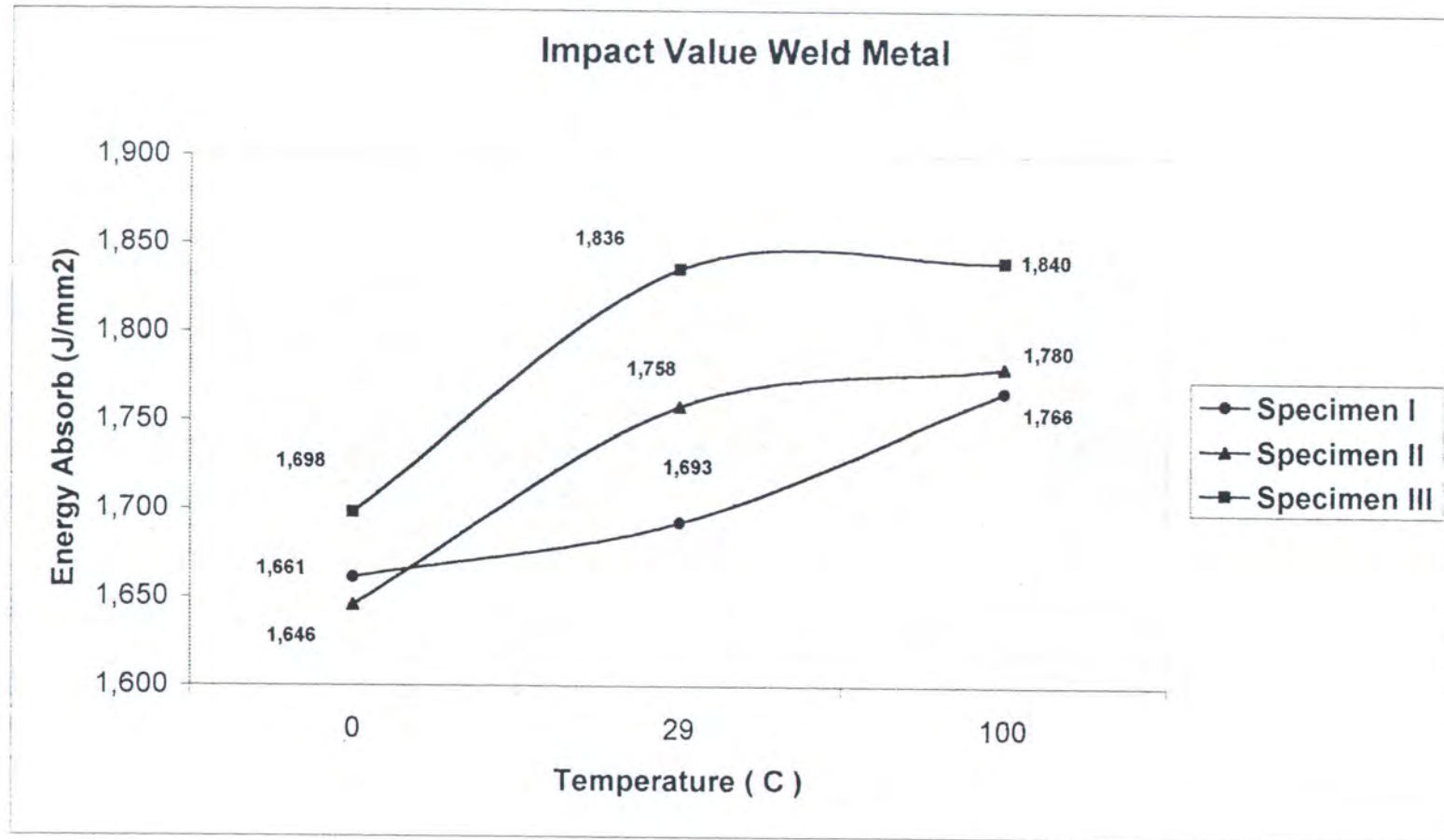
Lampiran 19

Gambar 4.1.b3 Grafik Hasil Pengujian Impact



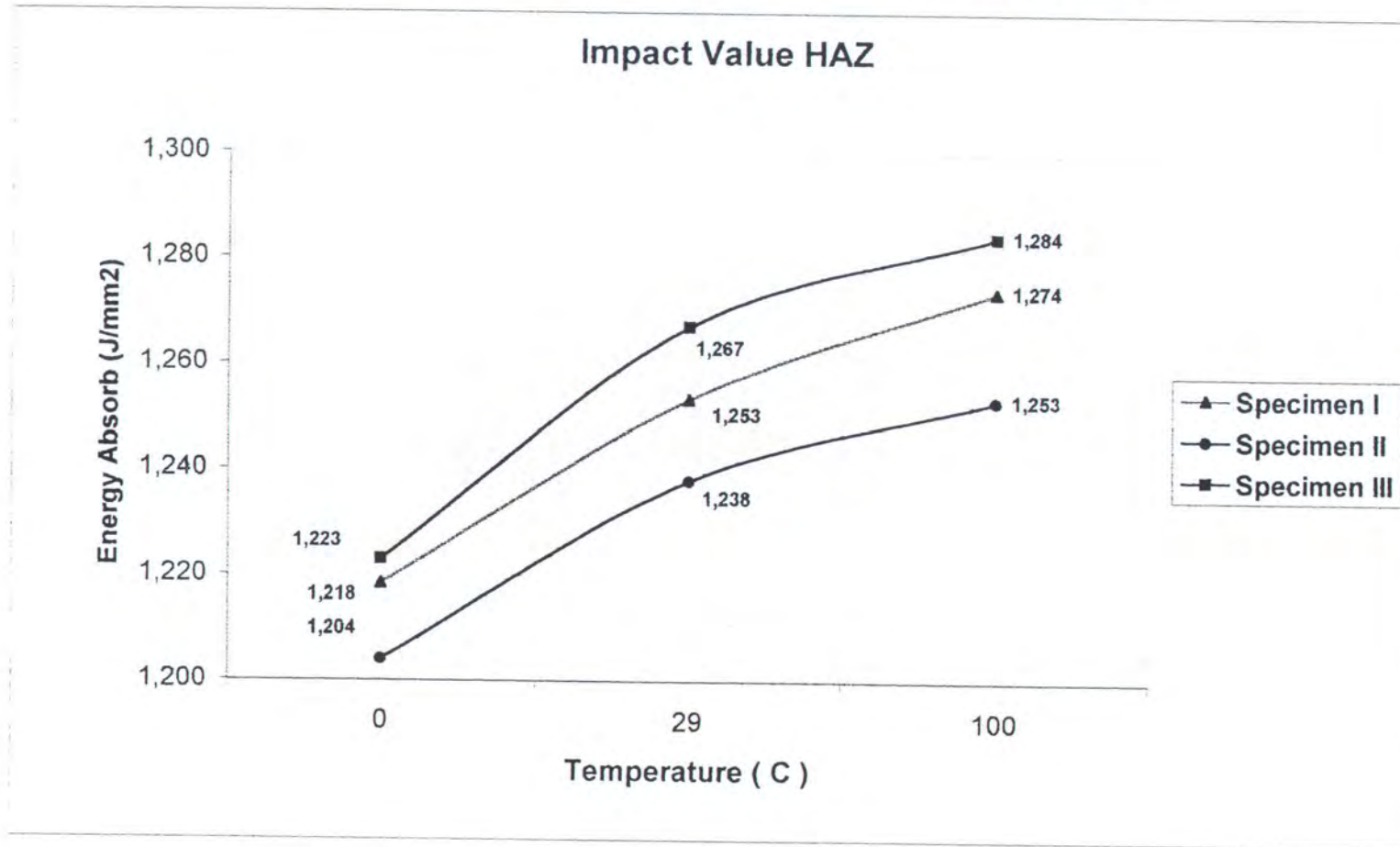
Lampiran 20

Gambar 4.1.a Grafik Hasil Pengujian Impact Semua Spesimen



Lampiran 21

Gambar 4.1.b Grafik Hasil Pengujian Impact Semua Spesimen



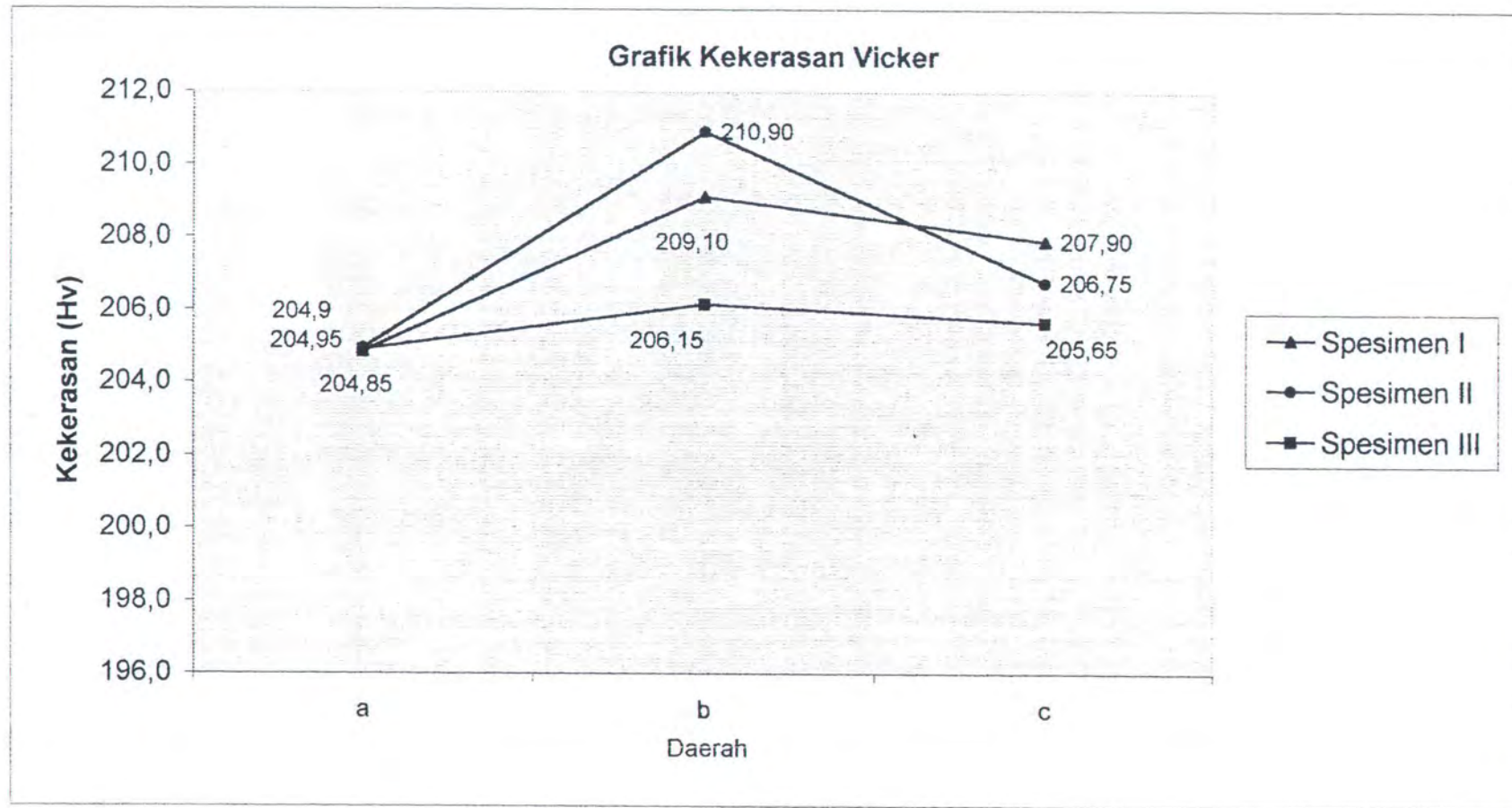
Lampiran 22

Tabel 4.13 Hasil Uji Kekerasan Vickers

Spesimen	Posisi	Nilai Hv	Nilai Rata-rata Hv
I	a	200,20	204,85
		209,50	
	b	212,40	209,10
		205,80	
	c	205,70	207,90
		210,1	
II	a	212,00	204,95
		197,90	
	b	217,00	210,90
		204,80	
	c	197,10	206,75
		216,40	
III	a	204,10	204,90
		205,70	
	b	211,50	206,15
		200,80	
	c	211,00	205,65
		200,30	

Lampiran 23

Gambar 4.4. Grafik Hasil Pengujian Kekerasan Semua Spesimen



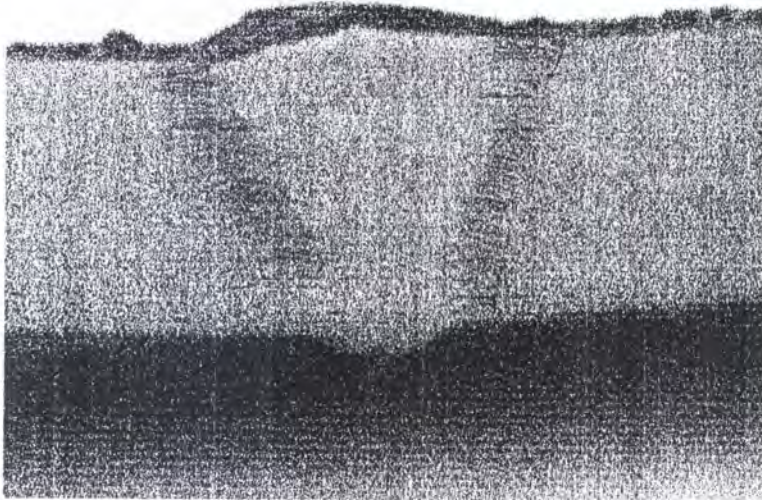
Lampiran 24

Gambar 4.5 Hasil Foto Pengujian Mokroetsa Ayunan Δ



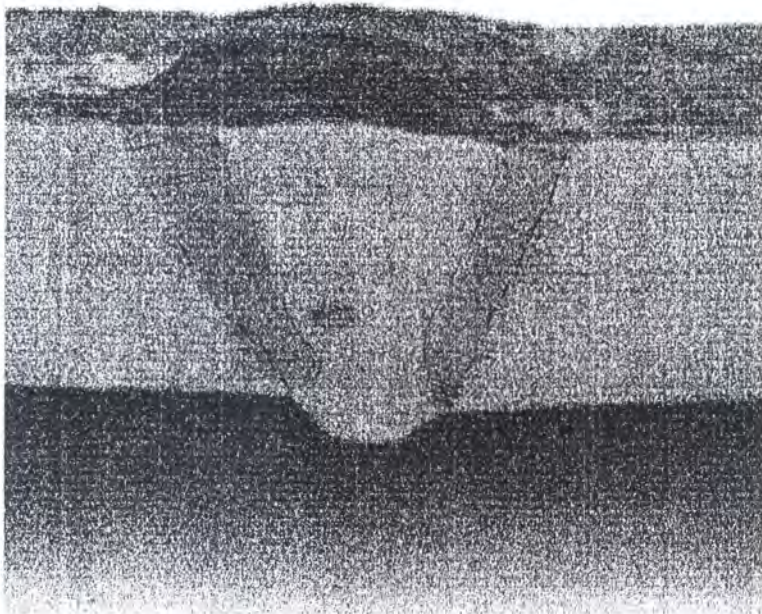
Lampiran 25

Gambar 4.6 Hasil Foto Pengujian Makroetsa Ayunan U



Lampiran 26

Gambar 4.7 Hasil Foto Pengujian Makroetsa Ayunan O



O

Lampiran 27

Tabel 4.14 Prosentase Patah Geser dalam % (ASTM E-23,1994)

TABLE 1 Percent Shear for Measurements Made in Millimetres

NOTE—100 % shear is to be reported when either A or B is zero.

Dimension B, mm	Dimension A, mm																	
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5
1.0	99	98	98	97	96	96	95	94	94	93	92	92	91	91	90	89	89	88
1.5	98	97	96	95	94	93	92	92	91	90	89	88	87	86	85	84	83	82
2.0	98	96	95	94	92	91	90	89	88	86	85	84	82	81	80	79	77	76
2.5	97	95	94	92	91	89	88	86	84	83	81	80	78	77	75	73	72	70
3.0	96	94	92	91	89	87	85	83	81	79	77	76	74	72	70	68	66	64
3.5	96	93	91	89	87	85	82	80	78	76	74	72	69	67	65	63	61	58
4.0	95	92	90	88	85	82	80	77	75	72	70	67	65	62	60	57	55	52
4.5	94	92	89	86	83	80	77	75	72	69	66	63	61	58	55	52	49	46
5.0	94	91	88	85	81	78	75	72	69	66	62	59	56	53	50	47	44	41
5.5	93	90	86	83	79	76	72	69	66	62	59	55	52	48	45	42	38	35
6.0	92	89	85	81	77	74	70	66	62	59	55	51	47	44	40	36	33	29
6.5	92	88	84	80	76	72	67	63	59	55	51	47	43	39	35	31	27	23
7.0	91	87	82	78	74	69	65	61	56	52	47	43	39	34	30	26	21	17
7.5	91	86	81	77	72	67	62	58	53	48	44	39	34	30	25	20	16	11
8.0	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5

TABLE 2 Percent Shear for Measurements Made in Inches

NOTE—100 % shear is to be reported when either A or B is zero.

Dimension B, in.	Dimension A, in.															
	0.05	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38
0.05	98	96	95	94	94	93	92	91	90	90	89	88	87	86	85	85
0.10	96	92	90	89	87	85	84	82	81	79	77	76	74	73	71	69
0.12	95	90	88	86	85	83	81	79	77	75	73	71	69	67	65	63
0.14	94	89	86	84	82	80	77	75	73	71	68	66	64	62	59	57
0.16	94	87	85	82	79	77	74	72	69	67	64	61	59	56	53	51
0.18	93	85	83	80	77	74	72	68	65	62	59	56	54	51	48	45
0.20	92	84	81	77	74	72	68	65	61	58	55	52	48	45	42	39
0.22	91	82	79	75	72	68	65	61	57	54	50	47	43	40	36	33
0.24	90	81	77	73	69	65	61	57	54	50	46	42	38	34	30	27
0.26	90	79	75	71	67	62	58	54	50	46	41	37	33	29	25	20
0.28	89	77	73	68	64	59	55	50	46	41	37	32	28	23	18	14
0.30	88	76	71	66	61	56	52	47	42	37	32	27	23	18	13	9
0.31	88	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	18	10	5